

ALAN XIAO LIN ZHU

**Desenvolvimento de ferramenta de gestão de estoques para uma
distribuidora de bens de consumo**

São Paulo

2019

ALAN XIAO LIN ZHU

**Desenvolvimento de ferramenta de gestão de estoques para uma
distribuidora de bens de consumo**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

**São Paulo
2019**

ALAN XIAO LIN ZHU

**Desenvolvimento de ferramenta de gestão de estoques para uma
distribuidora de bens de consumo**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Junqueira

**São Paulo
2019**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Zhu, Alan Xiao Lin

Desenvolvimento de ferramenta de gestão de estoques para uma distribuidora de bens de consumo / A. X. L. Zhu -- São Paulo, 2019.

86 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Controle de estoques 2. Demanda 3. Bens de consumo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e aos meus irmãos, por terem me apoiado durante toda minha vida, com amor e carinho incondicionais, e terem possibilitado que tenha chegado aonde cheguei.

Ao meu orientador, Leonardo Junqueira, pela confiança depositada em mim ao aceitar atuar como meu orientador, e posterior esforço, trabalho e paciência empregados na orientação deste trabalho de formatura.

Aos meus amigos, que fizeram da minha experiência como universitário a mais agradável possível e participaram de grande parte das experiências mais marcantes da minha vida.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de estoques para uma empresa de distribuição de bens de consumo, que importa diversos produtos de um único fornecedor na China e os revende para outros vendedores, localizados principalmente na cidade de São Paulo e na região Nordeste. Até o momento da realização deste trabalho, a empresa em questão não possuía um sistema consistente para gestão de estoques, de forma que o administrador da empresa, uma vez por mês, analisava as vendas desde o último pedido de reposição e decidia usando estes dados e seus instintos, as quantidades a serem pedidas de cada item no próximo pedido, que chega apenas após quatro meses. O trabalho consiste em testar dois diferentes modelos de gestão de estoques – um reativo, de reposição pelo máximo, e um ativo, de cálculo de necessidades –, com o objetivo de identificar um possível sistema de gestão de estoques para cada SKU estudado, visando melhorar o resultado da organização. No modelo de gestão de estoques ativo, especificamente, avaliam-se os métodos de previsão de demanda de média móvel simples, suavização exponencial simples, suavização exponencial com tendência e suavização exponencial com tendência e sazonalidade. Os modelos são parametrizados e validados utilizando-se séries históricas de vendas entre janeiro de 2015 e dezembro de 2018. Os resultados obtidos são utilizados para compará-los entre si e com a situação real, usando como critério de referência o custo total com estoques incorrido pela empresa, além dos indicadores giro de estoque e nível de serviço, visando a otimização dos resultados da empresa. A aplicação dos modelos de gestão de estoques selecionados especificamente para cada um dos SKUs geraria uma economia estimada de aproximadamente oitenta mil dólares em dois anos em comparação com a situação real.

Palavras-chave: gestão de estoques, previsão de demanda, distribuidora, bens de consumo

ABSTRACT

The objective of this study is to develop an inventory management tool for a distributor of consumer goods that imports several products from a single China-based supplier and sells them to other companies, located mainly in the city of São Paulo and in the Northeast region of Brazil. Until the development of this study, the company didn't have a consistent inventory management system and the company's manager, once a month, analyzed the previous period's sales and defined, using these data and his feelings, the lot sizes for each of the products, which arrived only four months after they were ordered. This study consists of testing two different inventory management models – a reactive one (order-up-to model) and a forecast-based one –, in order to identify a potential inventory management system for each of the company's SKUs that would improve the company's results. In the forecast-based model, four demand forecasting methods were tested: simple moving average, simple exponential smoothing, trend adjusted exponential smoothing and trend and seasonality adjusted exponential smoothing. The models are adjusted and validated using time series ranging from January 2015 to December 2018. The outcomes are used to compare themselves and the real situation, based on the following criteria: inventory-based costs, inventory turnover and service level. The application of the inventory management models specifically selected for each of the company's SKUs would generate estimated savings of approximately eighty thousand dollars in two years in comparison to the real situation.

Palavras-chave: inventory management, demand forecasting, distributor, consumer goods

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Classificação dos modelos de estoque.....	26
Figura 2.2 – Comportamento dos níveis de estoque no modelo QLE	27
Figura 2.3 – Classificação de métodos de previsão de demanda.....	35
Figura 2.4 – Exemplo gráfico de padrões de demanda.....	37
Figura 3.1 – Macro-atividades realizadas na execução deste trabalho	53
Figura 4.1 – Ilustração do conteúdo da aba “Nivel_estoque”, utilizada para calcular o nível do estoque de cada SKU mês a mês.....	78
Figura 4.2 – Ilustração do conteúdo da aba “Calculo_lote”, utilizada para calcular o tamanho do lote de reposição de cada SKU, mês a mês.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificações de modelos de gestão de estoques.....	33
Tabela 2.2 – Medidas de erro.....	51
Tabela 4.1 – <i>Share</i> de vendas de cada SKU e <i>share</i> de vendas acumulado em 2018	65
Tabela 4.2 – Classificação ABC	66
Tabela 4.3 – Método de previsão de demanda escolhido para cada SKU	67
Tabela 4.4 – Parâmetros associados aos métodos de previsão de demanda selecionados para cada SKU	69
Tabela 4.5 – Aplicação do teste de Anderson-Darling para cada SKU para o modelo de cálculo de necessidades	70
Tabela 4.6 – Nível máximo de estoque de cada SKU`	71
Tabela 4.7 – Aplicação do teste de Anderson-Darling para cada SKU para o modelo de reposição pelo máximo	72
Tabela 4.8 – Fragmento de simulação de atendimento de pedidos e reestocagem.....	73
Tabela 4.9 – Modelo de gestão de estoques escolhido para cada SKU	74
Tabela 4.10 – Distribuição dos métodos de gestão de estoques e previsão de demanda selecionados	75
Tabela 4.11 – Critérios de avaliação das simulações.....	76
Tabela 4.12 – Exemplo de dados de vendas exportada do software de gestão da EMPRESA77	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	15
1.1.1 Processos.....	16
1.1.2 Descrição do problema	17
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	17
1.3 RELEVÂNCIA	17
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ESTOQUES	19
2.1.1 Indicadores de desempenho	21
2.1.2 Classificação de estoques.....	24
2.1.3 Modelos de gestão de estoques	24
2.2 PREVISÃO DE DEMANDA	34
2.2.1 Métodos quantitativos de previsão de demanda	35
2.2.2 Cálculo de erros	49
3 MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1 EXTRAÇÃO DE DADOS.....	54
3.2 LIMPEZA DA BASE	54
3.3 ANÁLISE PRELIMINAR DE DADOS	54
3.4 SELEÇÃO DE MODELOS	55
3.4.1 Seleção de modelos de previsão de demanda	55
3.4.2 Seleção de modelos de gestão de estoques	55
3.5 DIVISÃO DA BASE HISTÓRICA.....	57
3.6 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DOS MODELOS	57
3.6.1 Modelos de previsão de demanda	58
3.6.2 Modelos de gestão de estoques	59

3.6.3 Testes de normalidade.....	60
3.7 SIMULAÇÃO DOS PEDIDOS DE COMPRA E ATENDIMENTO DE PEDIDOS ...	61
3.8 AVALIAÇÃO DOS MODELOS	62
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	65
4.1 ANÁLISE ABC	65
4.2 PARAMETRIZAÇÃO.....	66
4.2.1 Modelo de cálculo de necessidades	67
4.2.2 Modelo de reposição pelo máximo	71
4.3 SIMULAÇÃO DE COMPRAS E VENDAS.....	73
4.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS	74
4.5 FERRAMENTA DE GESTÃO DE ESTOQUES.....	76
5 CONCLUSÃO	81
5.1 SÍNTESE DO TRABALHO	81
5.2 ANÁLISE CRÍTICA	82
5.3 DESDOBRAMENTOS.....	83
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma descrição detalhada das tarefas realizadas para o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de estoques para uma empresa de importação de produtos da China para o Brasil e distribuição destes no Brasil. Dado o fato de que o objeto de trabalho deste documento é uma distribuidora de produtos, há poucos processos em suas operações e a maioria deles estão relacionados diretamente aos seus estoques, de modo que uma otimização da gestão de estoques deve ser constantemente perseguida para melhorar os resultados da organização.

A empresa em questão pertence a um conhecido do autor e não é a empresa em que o autor cumpriu seu estágio. O autor opta por não desenvolver um trabalho de formatura relacionado ao The Boston Consulting Group, empresa onde estagiou, dado que ao iniciar o trabalho de formatura, em março de 2019, não estava vinculado à empresa e devido ao alto nível de confidencialidade associado ao trabalho realizado na empresa de consultoria. Portanto, este capítulo apresenta uma descrição sucinta da empresa e de seus processos de gestão de estoques, do problema a ser abordado – e sua relevância – e da organização deste trabalho.

1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O local de desenvolvimento do presente trabalho é uma empresa brasileira de importação e distribuição de bens de consumo que, por motivos de confidencialidade, tem seu nome omitido e é referida como EMPRESA neste documento. A EMPRESA foi criada em 2009, inicialmente como importadora e distribuidora de tênis de skate e, desde então, os produtos importados pela EMPRESA mudaram consideravelmente até o presente momento, em que trabalha com escovas dentais, lâminas de barbear e colas instantâneas, todas importadas da China.

Atualmente, a EMPRESA possui um quadro de funcionários bastante reduzido, contando com apenas 6 funcionários: 3 estoquistas, 1 funcionário responsável pelos assuntos fiscais, 1 funcionário responsável pelos assuntos financeiros e 1 secretário, além do proprietário, que supervisiona e controla todos os funcionários.

A EMPRESA está localizada na região central da cidade de São Paulo e seu modelo de negócios é *business-to-business*, atendendo cerca de 30 clientes, sendo parte deles também distribuidores e parte vendedores finais. Alguns dos clientes estão localizados na cidade de São

Paulo, mas a maior parte do volume dos negócios da EMPRESA se concentra em clientes na região Nordeste.

O principal produto comercializado pela EMPRESA são as escovas dentais. Ela começou a trabalhar com escovas dentais em 2011 e, em 2018, comercializou aproximadamente 10 milhões de unidades, tendo, segundo o proprietário, cerca de 3% do *market share* no Brasil, com uma estrutura de custos enxuta devido à ausência total de investimentos em marketing, um sistema de distribuição centralizado em local único, ausência de representantes de venda e quantidade baixa de funcionários.

O segmento alvo da EMPRESA é o segmento popular, oferecendo produtos baratos e com características básicas, de maneira que o volume de vendas é importantíssimo para a rentabilidade da empresa. Mesmo com custos adicionais de transporte e importação, os baixos preços associados aos produtos manufaturados na China permitem que a EMPRESA consiga competir com preços baixos, o que é essencial no caso das escovas dentais.

1.1.1 Processos

Os processos relacionados às escovas dentais são consideravelmente diferentes dos relacionados às colas instantâneas e às lâminas de barbear. Tanto as lâminas de barbear quanto as colas instantâneas são pedidas aos fornecedores apenas após os pedidos serem feitos pelos clientes, de maneira que não há estoque destes produtos.

Por outro lado, os pedidos das escovas de dentes são feitos mensalmente, sem que pedidos tenham sido feitos pelos clientes. Neste caso, o próprio proprietário, baseando-se na demanda do último mês, decide qual a quantidade a ser pedida dos produtos, sem auxílio de programas, apenas utilizando sua própria intuição. Uma vez feito o pedido, os produtos vindos da China demoram, em média, 110 dias para atracar no porto de Santos e outros 10 dias para chegar ao local da empresa, levando um total de 120 dias para chegar ao estoque da EMPRESA.

Atualmente, a EMPRESA utiliza um software para realizar suas vendas, em que os funcionários devem, manualmente, adicionar informações associadas a cada pedido feito pelos clientes da EMPRESA – data de venda, número do pedido, razão social do cliente, nome do vendedor, *stock keeping units* (SKUs) vendidos e a quantidade vendida do respectivo SKU. Esse software é utilizado, principalmente, porque realiza a emissão de notas fiscais e, como função adicional, mantém histórico das vendas da EMPRESA.

1.1.2 Descrição do problema

A gestão de estoques da EMPRESA é realizada de maneira intuitiva, sem uso de dados históricos de longo prazo ou de ferramentas para auxiliar a decisão, de maneira que o proprietário faz os pedidos para atender uma demanda que ocorrerá após 120 dias da realização do pedido. Isso faz com que haja tanto situações em que não há produtos o bastante para atender a todos os pedidos, como situações em que há estoque parado, incorrendo em custos à empresa.

Dessa maneira, acredita-se que há oportunidade de melhora no sistema de controle de estoques da EMPRESA, com a utilização de modelos de gestão de estoques, para que ela possa tanto otimizar seu nível de serviço como enxugar seus níveis de estoque, melhorando seu resultado.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do presente trabalho é a criação de uma ferramenta gerencial para auxílio na realização de pedidos de compra da EMPRESA, com utilização de um modelo de gestão de estoques associado a cada um de seus produtos que torne o processo de reposição de mercadorias mais consistente e aumente a lucratividade da EMPRESA, aumentando o nível de serviço e reduzindo o capital amarrado em estoque parado. Pretende-se atingir este objetivo por meio do teste de diferentes modelos de gestão de estoques, da avaliação de suas performances aplicadas aos produtos da EMPRESA e da posterior escolha dos modelos para compor a ferramenta.

1.3 RELEVÂNCIA

Em uma empresa distribuidora, como a que é objeto deste trabalho, que apenas compra produtos acabados, não ocorre transformação de produtos, de maneira que não há custos relacionados aos processos produtivos, o que faz com que os outros custos da empresa possuam maior magnitude, proporcionalmente. Isso faz com que os custos de estoques tenham ainda maior relevância, quando comparada a outras empresas.

Na EMPRESA, que possui uma equipe de funcionários bastante enxuta e poucas despesas comerciais, como marketing, os custos de estoque são responsáveis pela grande maioria de seus custos, de maneira que uma redução destes custos pode ter grande impacto em

seu resultado. Desta maneira, acredita-se que a criação de uma ferramenta de gestão de estoques aplicada à EMPRESA pode aumentar sua lucratividade e nível de serviço significativamente.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste documento apresentou uma introdução deste trabalho, com uma descrição da empresa e de seus processos de gestão de estoques, o problema a ser abordado, o objetivo deste trabalho e a relevância dele. O segundo capítulo apresenta uma pesquisa bibliográfica de assuntos relacionados ao problema, em especial fundamentos teóricos de gestão de estoques e de modelos de previsão de demanda. O terceiro capítulo discute os materiais e métodos propostos para solucionar o problema abordado, com uma descrição dos diversos passos adotados. O quarto capítulo apresenta os resultados decorrentes da aplicação dos materiais e métodos selecionados e descritos, além de análises e discussões acerca dos resultados obtidos. O quinto capítulo conclui o conteúdo deste trabalho, com uma breve síntese, uma análise crítica dos resultados obtidos e potenciais futuros desdobramentos decorrentes deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta toda a pesquisa bibliográfica feita para embasar os materiais e métodos selecionados para a solução do problema central abordado neste trabalho. A seção de revisão bibliográfica apresenta conteúdo cujo escopo inclui uma introdução a estoques, com conceitos básicos e indicadores de desempenho, modelos de gestão de estoques e métodos de previsão de demanda.

2.1 ESTOQUES

Estoque é qualquer material necessário para as operações de uma organização, independentemente de estar presente ou não nos produtos finais (GREENE, 1997), mas que será utilizado, de alguma maneira, para satisfazer a demanda pelos produtos da companhia (JOHNSON; MONTGOMERY, 1974). Todas organizações mantêm um estoque, que pode ser constituído por matéria-prima, material em processo, produtos acabados e suprimentos para as operações (MULLER, 2003). Eles são necessários para amortecer discrepâncias entre as taxas de oferta e de demanda por um produto, dissociando estes agentes (GREENE, 1997).

Como os sistemas operacionais, de maneira geral, não podem ser projetados para atender as exigências dos clientes por produtos ou serviços imediatamente, os estoques fornecem um nível de disponibilidade de produtos e serviços que permitem o atendimento de um elevado nível de serviço ao cliente. Além disso, os estoques podem, indiretamente, reduzir custos operacionais, por meio de (BALLOU, 2001):

- a) incentivo às economias de produção, diminuindo o impacto de variações da demanda na produção;
- b) economias na compra e no transporte, com descontos por compras de grandes quantidades e economia de escala no transporte;
- c) proteção contra oscilação de preços, com a compra de grandes quantidades de matéria-prima a preços baixos;
- d) proteção contra variação no tempo de produção e transporte de produtos, que podem causar incertezas que impactam os custos operacionais e os níveis de serviço ao cliente;
- e) proteção contra ocorrências não planejadas e não antecipadas, como desastres naturais e greves.

Por outro lado, a manutenção de estoques também apresenta desvantagens, como possível redução do impacto de problemas de qualidade, diminuindo a urgência da correção de problemas de qualidade; incentivo ao isolamento das diferentes etapas considerando-se o processo logístico, desestimulando a tomada de decisões considerando o canal logístico como um todo; e, principalmente, geração de custos e amarração de capital da organização, impedindo outros investimentos (BALLOU, 2001).

Segundo Tersine (1994), os custos relacionados a estoques podem ser categorizados da seguinte maneira:

- a) custo de aquisição: preço de compra do produto, somado ao frete;
- b) custo de pedido: custos relacionados às atividades do processo de realização de pedidos, como solicitação de propostas, análise de propostas, elaboração do pedido de compra, recebimento de materiais, inspeção de materiais e acompanhamento dos pedidos;
- c) custo de manutenção: custos associados à manutenção do estoque físico em armazém, como custos de oportunidade do capital, impostos, seguro, manuseio, além de custos associados aos riscos de manter estoque, como obsolescência, roubos e deterioração;
- d) custo de falta de estoque: custos associados a pedidos feitos por produtos em falta no estoque.

Os custos de falta de estoque possuem características diferentes, dependendo das circunstâncias, e podem ser divididos em custos de pedido prioritário, custos de pedido atrasado e custos de venda perdida. No caso dos custos de pedido prioritário, custos adicionais, como transporte, manuseio e empacotamento, são incorridos para garantir que o pedido possa ser atendido a tempo. Já no caso dos custos de pedido atrasado, o pedido só é atendido após o reabastecimento rotineiro do estoque e, nesse caso, a imagem da empresa pode sofrer impactos, influenciando em possíveis pedidos futuros. Por fim, nos custos de venda perdida, ocorre a perda da receita que seria obtida caso o pedido tivesse sido atendido, além de, novamente, impactar a imagem da empresa. Adicionalmente, outros custos podem ser incorridos em caso de falta de estoque, como penalidades por incapacidade de cumprir obrigações contratuais (HAX; CANDEA, 1984).

Diferentes áreas de uma empresa desejam a minimização de pelo menos um desses custos, e é facilmente notável como a minimização individual de cada um deles pode ser conflitante. Dessa maneira, um dos objetivos da gestão de estoques é a minimização desses

custos como um todo. Deve-se notar que, dada a dificuldade de se quantificar os custos de falta de estoque satisfatoriamente, é comum especificar um nível de serviço mínimo desejado e minimizar a soma dos custos de aquisição, de pedido e de manutenção, enquanto tentando atingir o nível de serviço especificado. (TERSINE, 1994)

2.1.1 Indicadores de desempenho

Indicadores são úteis para fins de comparação, para determinar se a performance de algo está melhorando ou piorando, levando em conta fatores como indicadores de períodos anteriores, objetivos da organização e indicadores de outras organizações (MULLER, 2003). É importante que uma organização reconheça as implicações financeiras de investimento em estoques e como elas afetam sua rentabilidade (GREENE, 1997).

2.1.1.1 Índice de liquidez corrente

A importância relativa do estoque em uma organização pode ser medida pelo investimento em estoques e pela magnitude dos custos de material na composição dos custos dos produtos. Estoques imobilizam dinheiro, e uma gestão de estoques ruim pode causar fluxo de caixa negativo, imobilizar quantidades excessivas de capital, limitar a expansão da organização por falta de capital para investimento e reduzir o retorno sobre os ativos (TERSINE, 1994). A liquidez de uma organização indica sua capacidade de pagar suas obrigações no curto prazo (MULLER, 2003). Uma das maneiras de se medir a liquidez de uma organização é utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Índice de liquidez corrente} = \frac{\text{Ativo circulante}}{\text{Passivo circulante}} \quad (1)$$

2.1.1.2 Índice de liquidez seca

Há situações em que, mesmo o ativo circulante de uma organização sendo maior que seu passivo circulante, a empresa possui dificuldades de pagamento de suas obrigações, devido ao fato de suas dívidas estarem vencendo com maior rapidez do que os ativos que se transformam em dinheiro. Como o estoque não possui liquidez imediata, pode ser pertinente

medir a liquidez da empresa sem considerar os estoques (MARION, 2008). Dessa maneira, o *índice de liquidez seca* exclui os estoques, destacando a capacidade de uma organização de pagar suas obrigações no curto prazo, sem depender da venda de seus produtos, o que é particularmente relevante para organizações com estoque de baixa movimentação (MULLER, 2003). O *índice de liquidez seca* pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Índice de liquidez seca} = \frac{(\text{Ativo circulante} - \text{Estoques})}{\text{Passivo circulante}} \quad (2)$$

2.1.1.3 Retorno sobre ativos

Um importante indicador da performance financeira de uma organização é o *retorno sobre ativos*. Em geral, estoques são um dos componentes mais significativos dos ativos, junto a ativos fixos, como armazéns e equipamentos (GREENE, 1997). O indicador *retorno sobre ativos* auxilia na mensuração da efetividade com que os ativos de uma organização estão sendo utilizados para gerar lucro (HELFERT, 2001), e pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\text{Retorno sobre ativos} = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Ativos}} * 100\% \quad (3)$$

Pode-se notar que a redução dos níveis de estoque aumenta o *retorno sobre ativos* e a efetividade do negócio, além de permitir a diminuição dos custos de manutenção do estoque e outros gastos, possibilitando uma melhora ainda maior da performance financeira da organização (GREENE, 1997).

2.1.1.4 Giro de estoque e Cobertura de estoque

A velocidade com que o estoque entra e sai de uma empresa pode servir como indicação da eficiência do sistema de estoques de uma organização (TERSINE, 1994). Um indicador para essa velocidade é o *giro de estoque*, que mede quantas vezes, em média, o estoque é repostado durante um período de tempo (MULLER, 2003). O *giro de estoque* pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Giro de estoque} = \frac{\text{Demanda do período}}{\text{Estoque médio do período}} \quad (4)$$

Por outro lado, o indicador *cobertura de estoque* mede o tempo médio de duração do estoque, caso não houvesse reposição de estoque no período, e é o inverso do *giro de estoque*, podendo ser calculado da seguinte maneira:

$$\text{Cobertura de estoque} = \frac{\text{Estoque médio do período}}{\text{Demanda do período}} \quad (5)$$

Para cálculo do estoque médio do período, pode ser utilizada a média aritmética dos estoques inicial e final do período, como pode ser visto na seguinte fórmula (TERSINE, 1994):

$$\text{Estoque médio do período} = \frac{E_i + E_f}{2} \quad (6)$$

Em que:

E_i = Estoque no início do período

E_f = Estoque no final do período

2.1.1.5 Nível de serviço

A mensuração do *nível de serviço* pode ser feita utilizando a combinação de dois fatores: escopo e dimensão. Em relação ao escopo, o *nível de serviço* pode focar nos pedidos ou nos produtos. Já no que tange a dimensão, o foco da análise de *nível de serviço* pode ser quantidade ou tempo (PLOSSL, 1985).

Dessa maneira, o *nível de serviço* pode ser calculado como a porcentagem da demanda de produtos ou do número de pedidos feitos que é de fato entregue, ou como a porcentagem da demanda de produtos ou do número de pedidos feitos que é entregue dentro de prazos previamente estipulados (PLOSSL, 1985).

O aumento de estoques é uma das estratégias que podem ser adotadas para aumentar o nível de serviço. Entretanto, dado os possíveis altos custos disso, outras estratégias podem ser implementadas, como a utilização de transporte mais rápido e colaboração com clientes e provedores de serviços para reduzir as incertezas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2002).

2.1.2 Classificação de estoques

Grandes organizações podem ter centenas ou milhares de tipos de itens em estoque e uma das práticas eficientes de gestão de estoques é a classificação dos tipos de itens em diferentes grupos, determinando sua importância e, conseqüentemente, o esforço aplicado em sua gestão. Essa classificação é baseada na lei de Pareto, também chamada de lei 80/20, que estabelece que para um determinado evento, 80% dos efeitos são resultantes de 20% das causas (LUSTOSA et al., 2008).

2.1.2.1 CLASSIFICAÇÃO ABC

A classificação ABC, em geral, agrega os tipos de produtos de acordo com o total de vendas deles, em valor monetário anual, em 3 grupos. O grupo A seria composto pelos 20% dos produtos responsáveis por 80% das vendas da organização. O grupo B é representado por 30 a 40% dos produtos, que geram aproximadamente 15% das vendas. Por fim, o grupo C agrega os demais itens, que representam apenas 5% das vendas (PLOSSL, 1985).

Os itens do grupo A são os que devem receber maior atenção por parte dos administradores, com o uso de técnicas mais sofisticadas para previsão de demanda, revisões de estoque mais frequentes, registros mais detalhados e maior giro de estoque. Inversamente, os produtos do grupo C recebem menor atenção e, por isso, têm revisões menos frequentes e são estocados em grandes volumes. Os produtos do grupo B se posicionam intermediariamente em relação a essas políticas (GREENE, 1997).

O método de agregação escolhido deve ser adaptado às condições específicas da empresa, de maneira que pode haver mais que três grupos, e o critério para aglomeração pode ser, por exemplo, espaço físico ocupado, quantidades vendidas ou custo de investimento (SILVER; PETERSON, 1985).

2.1.3 Modelos de gestão de estoques

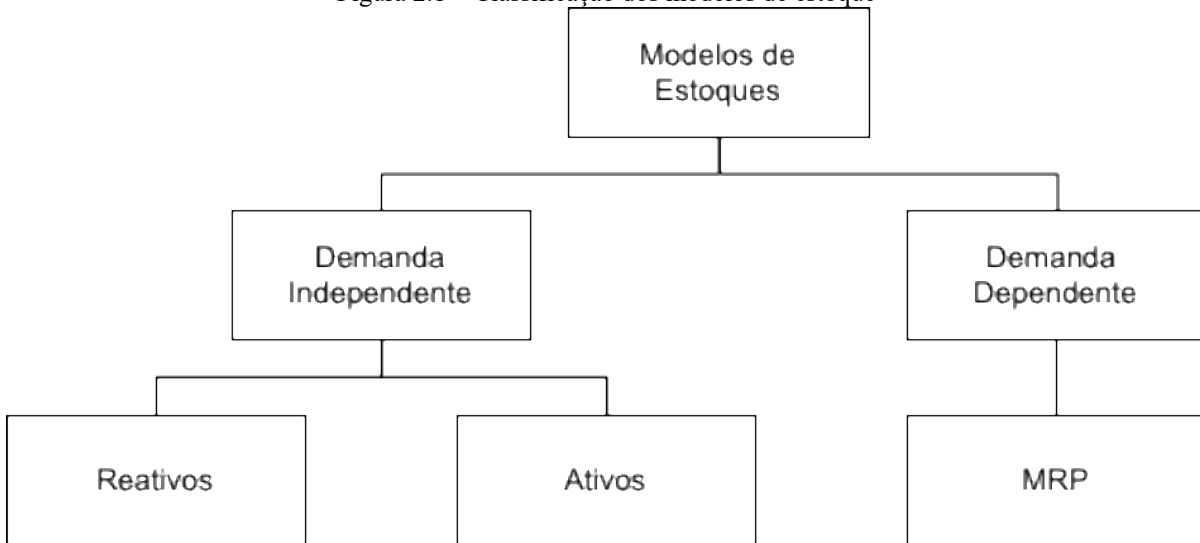
A gestão de estoques, essencialmente, deve determinar dois valores: quanto comprar e quando comprar os produtos que compõem o estoque da organização (GREENE, 1997). O objetivo de um processo bem desenhado de gestão de estoques deveria ser a minimização de

custos incorridos à organização, enquanto satisfazendo um nível de serviço desejado (HAX; CANDEA, 1984).

Uma possível classificação para modelos de gestão de estoques pode ser feita levando em conta dois fatores: a existência de dependência entre as demandas dos produtos do estoque e a utilização de previsão de demanda em cada decisão de reposição (LUSTOSA et al., 2008). Caso haja dependência entre as demandas dos produtos, o modelo de gestão de estoques trata de produtos com uma demanda dependente, e o modelo utilizado é o *Materials Requirements Planning* (LUSTOSA et al., 2008). Caso não haja dependência entre as demandas, a demanda dos produtos é independente e, nessa condição, caso previsões de demanda sejam utilizadas em cada decisão de reposição, o modelo de gestão de estoques é chamado ativo, e, em caso contrário, o modelo é chamado reativo (SANTORO, 2006). Uma representação dessas classificações pode ser observada na figura 2.1.

Modelos reativos baseiam suas decisões em parâmetros pré-definidos e nos níveis de estoque no momento da emissão do pedido de reposição, sendo mais adequados para itens cuja demanda é estacionária (LUSTOSA et al., 2008). Já os modelos ativos utilizam previsões de demanda para tentar antecipar variações, ou parte delas, sendo, dessa maneira, mais pertinentes para itens com sazonalidade ou tendências não estacionárias (LUSTOSA et al., 2008).

Figura 2.1 – Classificação dos modelos de estoque



Fonte: Adaptado de Lustosa et al. (2008)

2.1.3.1 Modelos de gestão de estoques reativos

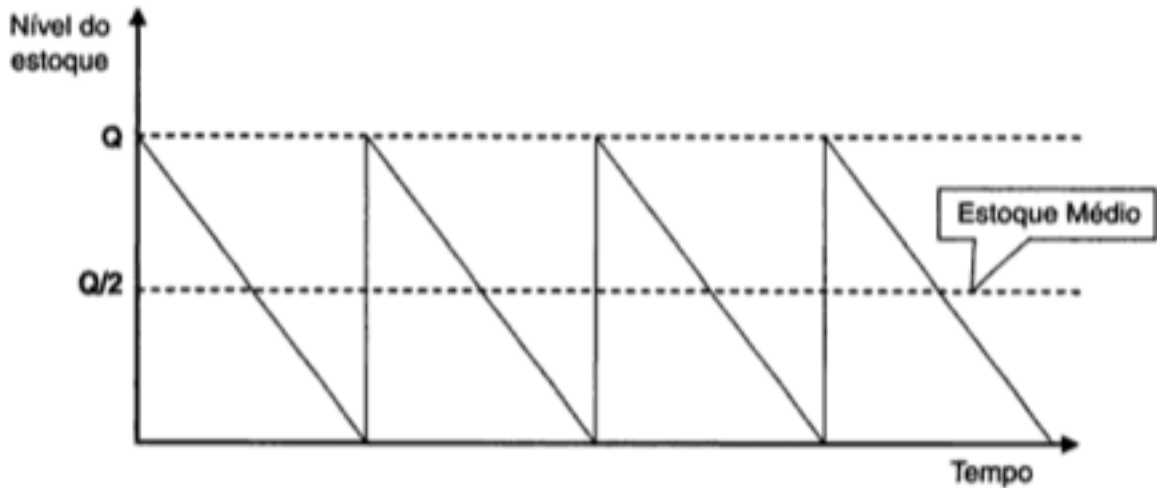
Os modelos de gestão de estoques reativos podem ser divididos em modelos de revisão periódica e de revisão contínua. Enquanto os modelos de revisão periódica preveem que a emissão dos pedidos ocorra em intervalos de tempo fixo, os modelos de revisão contínua preveem que a emissão dos pedidos ocorra no momento em que o nível do estoque atinge um determinado nível, chamado “ponto de pedido”. Como a demanda é geralmente variável, no caso dos modelos de revisão periódica, o intervalo entre pedidos é fixo e a quantidade pedida é variável, enquanto no caso dos modelos de revisão contínua o intervalo entre pedidos é variável e a quantidade pedida é fixa (LUSTOSA et al., 2008).

2.1.3.1.1 Quantidade do lote econômico

A quantidade do lote econômico (QLE) é a quantidade de unidades adquiridas de um produto em um pedido que minimiza os custos relacionados ao estoque, exceto pelos custos de falta de estoque (GREENE, 1997). O modelo de lote econômico parte das premissas de que apenas um item será pedido, de que a demanda por este item é constante, de que os custos de armazenagem e de pedido são lineares, ou seja, variam linearmente com a quantidade de itens estocados e pedidos feitos, respectivamente, de que a capacidade de suprimento é ilimitada, e de que o *lead time* de entrega dos pedidos de reposição é zero (LUSTOSA et al., 2008). Estas

premissas permitem que os pedidos sejam feitos no momento em que o estoque de um produto acaba. A representação gráfica destas premissas pode ser observada na figura 2.2.

Figura 2.2 – Comportamento dos níveis de estoque no modelo QLE



Fonte: Lustosa et al. (2008)

A quantidade do lote econômico pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$QLE = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_m}} \quad (7)$$

Em que:

C_p = custo de pedido, por pedido

C_m = custo de manutenção, em unidades do produto por ano

D = demanda, em unidades do produto por ano

2.1.3.1.2 Reposição contínua

No modelo de reposição contínua, as decisões de reposição são baseadas nas quantidades em estoque após cada venda de produtos. A cada ocasião em que há saída de unidades do estoque, o novo nível de estoque é comparado com um parâmetro previamente

estabelecido, o ponto de pedido. Caso o nível de estoque esteja igual ou abaixo do ponto de pedido, é feito um pedido de reposição, geralmente de tamanho fixo e igual à quantidade do lote econômico (LUSTOSA et al., 2008). O ponto de pedido pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$R = D * L + z * \sigma_d * \sqrt{L} \quad (8)$$

Em que:

D = demanda histórica média

L = *lead time* de reposição (constante, por hipótese)

σ_d = desvio-padrão da demanda

O valor de z está associado à distribuição normal de probabilidade e é determinado a partir do nível de serviço desejado para o produto (LUSTOSA et al., 2008).

2.1.3.1.3 Reposição periódica pelo máximo

O modelo de reposição pelo máximo é um dos modelos de reposição periódica, ou seja, os pedidos de reposição são feitos em momentos igualmente espaçados e pré-determinados. A quantidade pedida depende da demanda pelo produto no período entre os pedidos de reposição. Nesse caso, estabelece-se um nível máximo de estoque (S) para o produto, e o tamanho do pedido é o suficiente para elevar o nível do estoque no momento do pedido para o nível máximo determinado (TERSINE, 1994). O período entre pedidos de reposição (T) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$T = \frac{QLE}{Demanda} \quad (9)$$

O nível máximo de estoque pode ser determinado pela seguinte fórmula (SILVER; PETERSON, 1985):

$$S = \hat{x}_{T+L} + ES \quad (10)$$

Em que:

\hat{x}_{T+L} = demanda esperada no período de revisão e *lead time* de reposição

ES = estoque de segurança

O estoque de segurança pode ser calculado pela seguinte fórmula (SILVER; PETERSON, 1985):

$$ES = z\sigma_{R+L} \quad (11)$$

Em que:

z = fator de segurança, de acordo com o nível de serviço desejado para o produto

σ_{R+L} = desvio padrão da demanda durante o período de revisão e *lead time* de reposição

O tamanho do pedido a ser feito no início cada período t , aqui denominado instante t , pode ser calculado por (SANTORO, 2006):

$$Q_{t,t+L} = S - \sum_{i=1}^{L-1} Q_{t+i-L,t+i} - EF_t \quad (12)$$

Em que:

$Q_{t,t+L}$ = tamanho do lote de reposição a ser pedido no instante t , que chegará após o *lead time* de reposição L

$$\sum_{i=1}^{L-1} Q_{t+i-L,t+i} = \text{pedidos de reposição feitos nos períodos entre } t + 1 - L \text{ e } t - 1$$

EF_t = estoque físico no instante t

S = nível máximo do estoque

Neste modelo, o pedido é feito caso o tamanho do lote de reposição seja maior que 0.

2.1.3.1.4 Estoque base

O modelo de estoque base é um caso particular que mistura o modelo de reposição periódica pelo máximo com um modelo de revisão contínua, uma vez que se estabelece um nível máximo de estoque para o produto e a revisão do estoque é contínua (LUSTOSA et al., 2008).

Nesse modelo, a cada saída do produto do estoque, é feito um pedido de igual quantidade para repor o nível máximo do estoque, nesse caso, também chamado de estoque base (REGO; MESQUITA, 2011). Esse modelo é particularmente pertinente para produtos de alto valor e demanda reduzida (LUSTOSA et al., 2008). O estoque base (R^*), assumindo que a demanda segue uma distribuição normal, pode ser calculado por (HOPP; SPEARMAN, 2000):

$$R^* = \theta + z\sigma \quad (13)$$

Em que:

θ = demanda média durante o *lead time* de reposição

z = fator de segurança, de acordo com o nível de serviço desejado para o produto

σ = desvio padrão da demanda durante o *lead time* de reposição

O valor de z , associado à tabela normal, é aquele que satisfaz a seguinte relação (HOPP; SPEARMAN, 2000):

$$\Phi(z) = \frac{b}{b+h} \quad (14)$$

Em que:

b = custo de pedido atrasado por unidade por ano

h = custo de armazenamento por unidade por ano

2.1.3.2 Modelo de gestão de estoques ativo

Diferentemente dos modelos previamente descritos, que baseiam suas decisões de reposição no estado corrente de algumas variáveis e em parâmetros pré-determinados, reagindo à demanda, o modelo de gestão de estoques ativo de cálculo de necessidades utiliza previsões de demanda no cálculo do tamanho dos lotes de reposição (LUSTOSA et al., 2008).

Esse modelo é de revisão periódica e o tamanho do lote de reposição pode ser calculado da seguinte maneira (SANTORO, 2006):

$$Q_{t,t+L} = \sum_{i=1}^{R+L} \hat{x}_{t,t+i} - \sum_{i=1}^{L-1} Q_{t+i-L,t+i} + ES - EF_t \quad (15)$$

Em que:

$Q_{t,t+L}$ = tamanho do lote de reposição a ser pedido no instante t , que chegará após o *lead time* de reposição L

$\sum_{i=1}^{R+L} \hat{x}_{t,t+i}$ = previsão no instante t da demanda dos próximos períodos de revisão R e *lead time* de reposição L

$\sum_{i=1}^{L-1} Q_{t+i-L,t+i}$ = pedidos de reposição feitos nos períodos entre $t + 1 - L$ e $t - 1$

ES = estoque de segurança

EF_t = estoque físico no instante t

Na equação acima, chama-se de instante t o início do período t .

O pedido de reposição é feito caso $Q_{t,t+L}$ seja maior que 0. Caso contrário, não há necessidade de reposição (SANTORO, 2006).

Nesse caso, o estoque de segurança também deve ser calculado de forma diferente, uma vez que, no modelo reativo de reposição pelo máximo, o estoque de segurança deve incorporar variações totais de demanda, enquanto que, no modelo de cálculo de necessidades, as variações de demanda já estão consideradas na previsão. Dessa maneira, o estoque de segurança deve abordar apenas os erros de previsão (LUSTOSA et al., 2008). A fórmula para cálculo do estoque de segurança é:

$$ES = z\sigma_{R+L} \quad (16)$$

Em que:

z = fator de segurança, de acordo com o nível de serviço desejado para o produto

σ_{R+L} = desvio padrão de erros de previsão do período de revisão e *lead time* de reposição

2.1.3.3 Classificações adicionais de modelos de estoque

Além das classificações de modelos de estoque já mostradas anteriormente, com relação ao uso de previsões – ativo ou reativo – e à frequência de revisão – periódicos ou contínuos – há diversas outras classificações de modelos de estoque. A fim de se esclarecer a abrangência com que o problema será tratado, é importante que se delimite claramente as diferentes classificações de modelos de estoque, para que se possa estabelecer objetivamente as hipóteses restritivas da modelagem (SANTORO, 2006).

A tabela 2.1 apresenta as classificações compiladas por Santoro (2006), além de outras classificações criadas pelo autor para complementar as classes identificadas.

Tabela 2.1 – Classificações de modelos de gestão de estoques

(continua)

Classes quanto à/ao	Subclasses
Uso de previsões	Reativos
	Ativos
Frequência de revisão	Periódicos
	Contínuos
Variabilidade da demanda	Constante
	Variável
Incerteza da demanda	Determinístico
	Estocástico com distribuição conhecida
	Estocástico com distribuição desconhecida
Continuidade da demanda	Discretos
	Contínuos
Atendimento da demanda	Sem permissão de faltas
	Com permissão de faltas como atraso
	Com permissão de faltas como não atendimento
	Com permissão de faltas como atraso e não atendimento
Variabilidade da quantidade pedida	Fixa
	Variável função de nível máximo e atual
	Variável função da previsão de demanda
Tempo de espera	Zero
	Positivo e constante
	Variável
Tempo de espera de emergência	Sem tempo de espera de emergência
	Com tempo de espera de emergência
Capacidade da oferta	Infinita
	Finita com taxa variável
	Finita com taxa constante
	Finita com remessa limitada por aquisição
	Finita com remessa limitada por período
Número de itens	Único item
	Múltiplos itens

Tabela 2.1 – Classificações de modelos de gestão de estoques

(conclusão)

Classes quanto à/ao	Subclasses
Locais de estocagem	Único
	Múltiplos
Estrutura dos itens	Sem estrutura
	Estrutura linear
	Estrutura em árvore
Horizonte de planejamento	Finito
	Infinito
Hipóteses sobre funções de custo	Lineares
	Lineares e fixos
	Convexas
	Outras
Outras classificações	Perecíveis e não perecíveis
	Com e sem fração defeituosa
	Preços constantes e variáveis com quantidade
	Demanda dependente da quantidade em estoque
	Demanda crescente ou decrescente
	Custo de aquisição conjunto

Fonte: Santoro (2006).

2.2 PREVISÃO DE DEMANDA

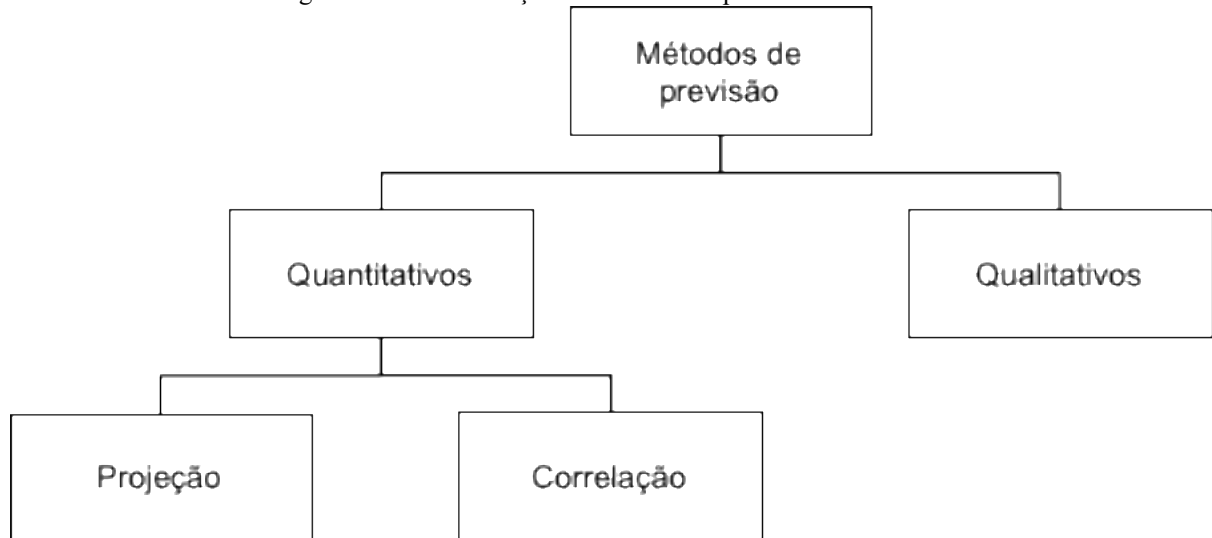
Previsão é a predição, projeção ou a estimativa da ocorrência de eventos futuros incertos. Seu propósito é fazer o melhor uso possível das informações disponíveis no momento presente para guiar atividades futuras, visando os objetivos da organização (TERSINE, 1994).

A maioria das organizações bem-sucedidas antecipam a demanda futura por seus produtos, uma vez que quanto melhor seus administradores conseguirem estimar o futuro, melhor eles conseguirão se preparar para ele (TERSINE, 1994).

Os métodos de previsão de demanda podem ser classificados da maneira apresentada na figura 2.3. De maneira geral, eles podem ser classificados em dois grupos: qualitativos e quantitativos. Os métodos qualitativos são baseados em opiniões e julgamentos pessoais, apresentando maior grau de subjetividade. Já os métodos quantitativos são baseados em dados

quantitativos e técnicas estatísticas. Dentro do grupo dos métodos quantitativos, ainda se pode dividi-los em métodos de projeção e métodos de correlação (LUSTOSA et al., 2008).

Figura 2.3 – Classificação de métodos de previsão de demanda



Fonte: Lustosa et al. (2008)

Deve-se notar que não há um método de previsão que é ideal para todas as situações, de maneira que as circunstâncias específicas devem ser levadas em conta na escolha do método (TERSINE, 1994). Por exemplo, no lançamento de um novo produto ou previsão de tendências de longo prazo de um setor econômico, os métodos qualitativos são, provavelmente, mais adequados (LUSTOSA et al., 2008). Por outro lado, para produtos já estabelecidos, com histórico de vendas sólido, os métodos quantitativos podem ser mais adequados, indicando o futuro com maior objetividade (TERSINE, 1994).

Este trabalho abordará apenas os métodos quantitativos, uma vez que são os mais pertinentes e relevantes considerando o escopo do problema abordado. Vale citar que, entre os vários métodos qualitativos, existem o de júri de opinião executiva, de força de vendas, pesquisas de mercado, simulação de cenários, método Delfi, matriz de impactos cruzados, analogias, entre outros, mas que não serão tratados com maior nível de detalhe.

2.2.1 Métodos quantitativos de previsão de demanda

Métodos quantitativos de previsão de demanda variam consideravelmente entre si, cada um tendo suas propriedades, precisão e custos específicos que devem ser levados em conta na

escolha do método para previsão. Para que métodos quantitativos de previsão possam ser aplicados, três condições devem ser satisfeitas (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983):

- a) informações sobre o passado devem estar disponíveis;
- b) essas informações podem ser quantificadas em forma de dados numéricos;
- c) pode-se assumir que parte dos padrões passados irão se repetir no futuro.

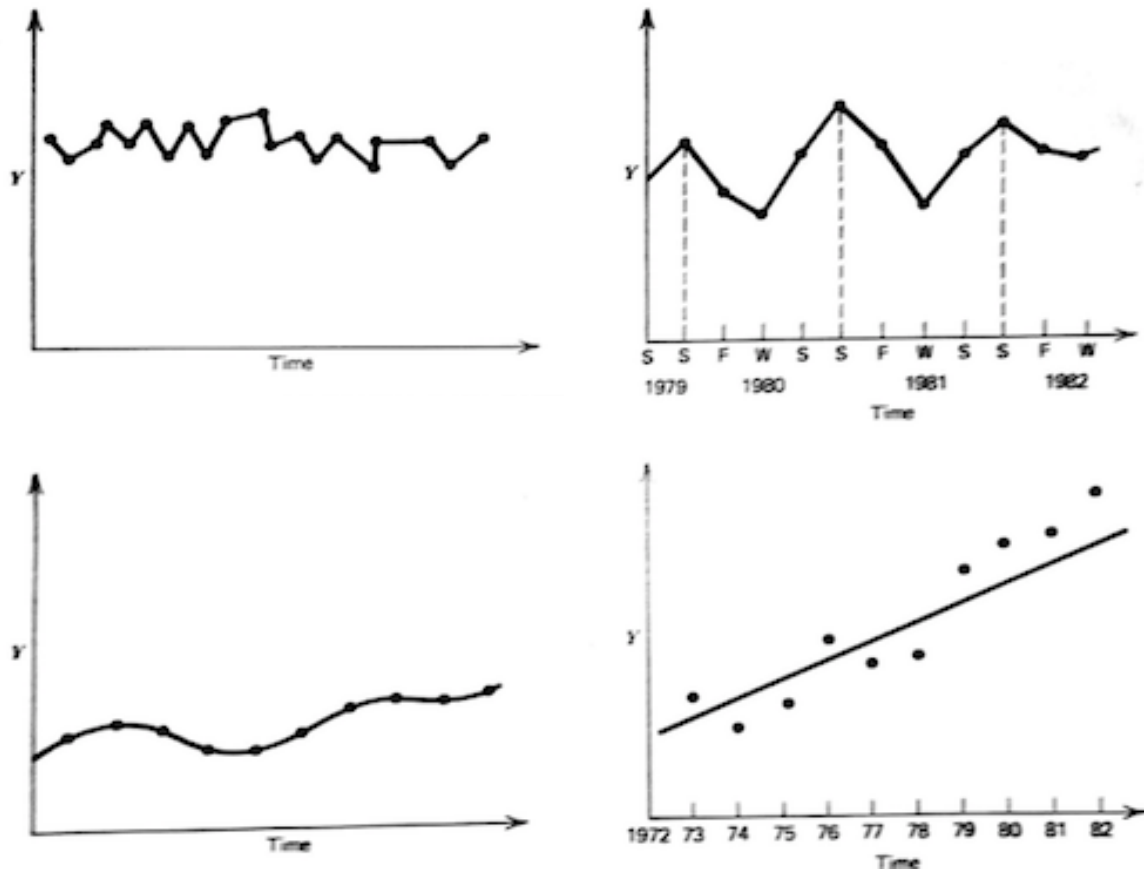
Dentro dos métodos quantitativos, pode-se classificá-los em métodos de projeção e métodos de correlação. Enquanto nos métodos de projeção a previsão é baseada em valores passados, de maneira que o objetivo é descobrir os padrões dos dados históricos e extrapolá-los para o futuro, assumindo que a demanda é correlacionada com a variável tempo, nos métodos de correlação, assume-se que a variável demanda possui relação de causa-e-efeito com uma ou mais variáveis independentes (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.1 Métodos de projeção

Um passo importante no processo de seleção do melhor método de projeção é identificar padrões nos dados. Quatro tipos de padrões podem ser destacados: estacionário, sazonal, cíclico e com tendência. Essas demandas são apresentadas nas representações gráficas da figura 2.4, respectivamente e ordenadamente, da esquerda para a direita e de cima para baixo. (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

O padrão estacionário ocorre em situações em que os valores dos dados variam em torno de um valor constante. Já o padrão sazonal aparece quando a base histórica aparenta ser influenciada por fatores sazonais, apresentando variações recorrentes em determinados meses ou dias da semana. O padrão cíclico, por sua vez, existe quando os valores históricos aparentam ser influenciados por flutuações econômicas de longo prazo, com variações suaves e períodos não definidos. A principal diferença entre o padrão sazonal e o padrão cíclico é que, enquanto o primeiro possui variações em períodos conhecidos e recorrentes e, em geral, mais curtos, como semana ou mês, o último possui flutuações em períodos e em magnitude variáveis e desconhecidos, podendo se estender por anos. Por fim, o padrão com tendência ocorre quando os dados apresentam crescimento ou declínio sistemático (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

Figura 2.4 – Exemplo gráfico de padrões de demanda



Fonte: Adaptado de Makridakis, Wheelwright e Mcgee, 1983

2.2.1.1.1 Demanda do último período

O método de projeção mais simples é considerar a demanda do período imediatamente anterior como a previsão da demanda no próximo período. Por incorporar toda variação da demanda nas previsões, esse método pode produzir estimativas muito erráticas (LUSTOSA et al., 2008). A fórmula é:

$$\hat{X}_t = X_{t-1} \quad (17)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

X_{t-1} = demanda no período t - 1

Essa técnica é particularmente adequada para situações em que há pouca variação de demanda de um período para outro, absorvendo bem padrões com tendência, mas não respondendo bem a variações sazonais (TERSINE, 1994).

2.2.1.1.2 Média aritmética

A média aritmética leva em conta a média de todos os valores passados da demanda para produzir a previsão da demanda do próximo período. A fórmula é:

$$\hat{X}_t = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{t-1}}{t-1} = \frac{\sum_{i=1}^{t-1} X_i}{t-1} \quad (18)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

X_i = demanda no período i

$t-1$ = número total de períodos

Esse método suaviza variações aleatórias, mas valoriza pouco dados recentes e não é responsivo a padrões de demanda (TERSINE, 1994). Dessa maneira, esse método é particularmente adequado para bases que não apresentam tendência ou sazonalidade relevantes (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.1.3 Média móvel simples

Uma maneira de alterar a influência de dados passados ao utilizar médias como métodos de previsão é limitar o número de valores a serem considerados. Esse método é chamado de média móvel simples (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983), e tem o objetivo de incluir registros suficientes para que flutuações aleatórias sejam descartadas e, ao mesmo tempo, desconsiderar valores muito antigos (TERSINE, 1994). A média móvel pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\hat{X}_t = \frac{X_{t-1} + X_{t-2} + X_{t-3} + \dots + X_{t-n}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{t-i}}{n} \quad (19)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

X_{t-i} = demanda no período t - i

n = número de períodos considerados na média móvel

O número de períodos a serem considerados na média móvel varia de situação para situação, mas normalmente, fica entre 3 e 8. Deve-se analisar as especificidades do contexto, uma vez que um número pequeno de períodos pode fazer com que a previsão tenha comportamento errático frente a variações aleatórias da demanda, enquanto que um número grande de períodos pode tornar a média muito estável, com dificuldade para acompanhar padrões com tendência (TERSINE, 1994). De maneira geral, o método da média móvel não absorve padrões com tendência ou com sazonalidade muito bem, mas apresenta desempenho melhor do que o método da média aritmética (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.1.4 Média móvel dupla

O método da média móvel dupla foi criado de maneira a mitigar o erro sistemático que ocorre caso a média móvel simples seja aplicada a uma série de dados com tendência. Esse método se baseia em calcular uma segunda média móvel, que é a média móvel da média móvel (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983). As equações que ilustram o processo do cálculo da média móvel dupla são:

$$M'_t = \frac{X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-n}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{t-i}}{n} \quad (20)$$

$$M''_t = \frac{M'_{t-1} + M'_{t-2} + \dots + M'_{t-n}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n M'_{t-i}}{n} \quad (21)$$

$$\alpha_t = 2 * M'_t - M''_t \quad (22)$$

$$\beta_t = \frac{2*(M'_t - M''_t)}{n-1} \quad (23)$$

$$\hat{X}_t = \alpha_t + \beta_t \quad (24)$$

Em que:

M'_t = média móvel da demanda nos últimos n períodos

M''_t = média móvel da média móvel da demanda nos últimos n períodos

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

Esse método é particularmente eficiente para séries de dados que apresentam um padrão de tendência linear e não possuem grandes variações aleatórias (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.1.5 Suavização Exponencial Simples

O método da suavização exponencial simples, também chamado de média móvel exponencial, atribui pesos exponencialmente decrescentes conforme a antiguidade dos dados, considerando todos os dados da série histórica e, conseqüentemente, atribui maior relevância aos dados mais recentes (TERSINE, 1994). Nessa técnica, o erro de uma previsão é utilizado para determinar a próxima previsão, movendo-a em direção contrária ao erro (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983), de maneira que seu valor é a combinação da previsão anterior com uma fração do erro da previsão anterior (TERSINE, 1994). Este método é pertinente para séries que apresentam tendência, mas não é adequado para séries que apresentam ciclicidade ou sazonalidade. O cálculo da suavização exponencial simples se dá por:

$$\hat{X}_t = \hat{X}_{t-1} + \alpha(X_{t-1} - \hat{X}_{t-1}) \quad (25)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

X_t = demanda no período t

α = constante de suavização exponencial, entre 0 e 1

Vale destacar que quanto maior o valor de α , maior será a compensação por erros de previsão. Caso α seja igual a 1, o método se torna o método da demanda do último período e, caso α seja igual a 0, as previsões serão sempre iguais (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983). Em geral, recomenda-se que se utilize um α entre 0,01 e 0,30, sendo que a utilização dessa técnica não é recomendada caso o cálculo de α gere um valor fora desse espectro (TERSINE, 1994).

Antes da aplicação do modelo de suavização exponencial simples, deve-se calcular uma previsão de demanda inicial. Para isso, caso o histórico de dados seja grande o bastante, recomenda-se dividir a base em duas, utilizando a primeira metade para obter a previsão de demanda inicial, por meio de, por exemplo, média aritmética, e utilizando a segunda metade para testar os valores de α . Caso o histórico de dados não possua entradas suficientes, pode-se considerar a primeira entrada de demanda como a previsão inicial (TERSINE, 1994).

Para determinação do valor da constante de suavização exponencial α , deve-se realizar testes com a base histórica de dados, em que uma medida de erro do modelo é calculada para diferentes valores de α , escolhendo o valor que minimiza o parâmetro escolhido. A medida de erro varia, podendo ser, por exemplo, o erro quadrático médio ou o erro percentual absoluto médio (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.1.6 Suavização Exponencial com Tendência

O método de suavização exponencial foi adaptado para que a técnica pudesse ser melhor aplicada a séries com tendência, com a adição de uma variável (T) que reflete as variações da

demanda de um período para o outro, além de uma variável (B) que representa a demanda sem efeitos de tendência (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2014). As equações que representam esse método são:

$$B_t = \alpha * X_{t-1} + (1 - \alpha)(B_{t-1} + T_{t-1}) \quad (26)$$

$$T_t = \beta * (B_t - B_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (27)$$

$$\hat{X}_{t+k} = B_t + k * T_t \quad (28)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

B_t = índice de base no período t

T_t = índice de tendência no período t

X_t = demanda no período t

α = constante de suavização para base, entre 0 e 1

β = constante de suavização para tendência, entre 0 e 1

k = número de períodos adiante do período t aplicado na previsão

Para determinação dos parâmetros do modelo, recomenda-se dividir a base de dados em duas e utilizar a primeira metade para cálculo da tendência inicial (T_0), utilizando uma regressão linear nesse conjunto para obter a inclinação da reta e considerá-la como T_0 . A estimativa inicial do índice de base (B_0) pode ser feita utilizando a equação da regressão linear, considerando o último período da primeira metade da base. Com isso, as constantes de suavização α e β são calculadas da mesma maneira que no método de suavização exponencial simples (TERSINE, 1994).

2.2.1.1.7 Suavização Exponencial com Sazonalidade

Para uma demanda com padrões de sazonalidade, é necessário especificar a duração do ciclo de sazonalidade e analisar os ciclos anteriores para cálculo de um índice de sazonalidade referente a cada período do ciclo de sazonalidade (TERSINE, 1994). Esse índice pode ser calculado pela razão entre a demanda média de cada período específico e a demanda média de todos os períodos, e ele é constantemente atualizado, conforme o passar dos períodos (LUSTOSA et al., 2008).

Nesse método, também se utiliza uma variável base (B), que representa a demanda sem efeitos de sazonalidade, obtida com a divisão da demanda pelo índice de sazonalidade (TERSINE, 1994). As equações que representam esse procedimento são:

$$I_{t+m} = \gamma * \frac{X_t}{B_t} + (1 - \gamma) * I_t \quad (29)$$

$$B_t = \alpha * \frac{X_{t-1}}{I_{t-1}} + (1 - \alpha) * B_{t-1} \quad (30)$$

$$\hat{X}_{t+n} = B_t * I_{t+n} \quad (31)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

B_t = índice de base no período t

I_t = índice de sazonalidade no período t

X_t = demanda no período t

α = constante de suavização para base, entre 0 e 1

γ = constante de suavização para sazonalidade, entre 0 e 1

m = número de períodos no ciclo de sazonalidade

Pode-se notar que a equação (30) tem o efeito de tirar o efeito da sazonalidade, com a divisão pelo índice de sazonalidade, e que a equação (31) retoma os efeitos sazonais com a multiplicação pelo índice de sazonalidade (TERSINE, 1994).

Para definição dos parâmetros desse modelo, deve-se dividir a base histórica em duas, utilizando a primeira parte para definição da base, como no método de suavização exponencial simples, e para definição dos índices de sazonalidade. A segunda parte é utilizada para definição das constantes de suavização α e γ (TERSINE, 1994).

2.2.1.1.8 Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade

O modelo de suavização exponencial com tendência e sazonalidade, também chamado de modelo de Holt-Winters, incorpora ambos os componentes de tendência e de sazonalidade (LUSTOSA et al., 2008). De maneira simplista, pode-se dizer que essa técnica é uma mistura das técnicas de suavização exponencial com tendência e com sazonalidade, apresentadas anteriormente, como pode-se ver pelas equações que a descrevem (TERSINE, 1994):

$$I_{t+m} = \gamma * \frac{X_t}{B_t} + (1 - \gamma) * I_t \quad (32)$$

$$T_t = \beta * (B_t - B_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (33)$$

$$B_t = \alpha * \frac{X_{t-1}}{I_{t-1}} + (1 - \alpha) * (B_{t-1} + T_{t-1}) \quad (34)$$

$$\hat{X}_{t+n} = (B_t + n * T_t) * I_{t+n} \quad (35)$$

Em que:

\hat{X}_t = previsão de demanda no período t

B_t = índice de base no período t

T_t = índice de tendência no período t

I_t = índice de sazonalidade no período t

X_t = demanda no período t

α = constante de suavização para base, entre 0 e 1

β = constante de suavização para tendência, entre 0 e 1

γ = constante de suavização para sazonalidade, entre 0 e 1

m = número de períodos no ciclo de sazonalidade

A definição dos parâmetros iniciais do modelo se dá, também, com a divisão dos dados históricos em dois conjuntos. O primeiro conjunto deve ter duração maior que o tamanho do ciclo de sazonalidade. Com o primeiro conjunto, calcula-se o índice de sazonalidade dividindo-se a demanda média de cada período específico do ciclo de sazonalidade pela demanda média de todos os períodos. Calcula-se também o índice de tendência inicial, com a inclinação da regressão linear calculada a partir das entradas do conjunto. A base inicial pode ser calculada utilizando o valor da demanda no primeiro período do segundo conjunto, retirando o efeito da sazonalidade, com a divisão pelo índice de sazonalidade, e depois subtraindo o índice de tendência. Então, calcula-se o valor das constantes de suavização com o segundo conjunto de dados, de acordo com critérios de erro pré-estabelecidos (TERSINE, 1994).

2.2.1.2 Métodos de correlação

As técnicas de previsão baseadas em correlação se baseiam na previsão do futuro por meio da descoberta e mensuração do efeito de variáveis independentes na variável dependente a ser estimada. De maneira geral, essas técnicas incorrem maior custo e, por isso, são utilizadas para planejamentos de mais longo prazo ou em situações em que a precisão adicional justifica os custos adicionais (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

Os métodos de correlação podem envolver uma ou mais variáveis dependentes e uma ou mais variáveis independentes. Quando há apenas uma variável dependente e uma variável independente, o modelo é chamado de regressão simples. Caso haja uma variável dependente e mais que uma variável independente, o modelo é chamado de regressão múltipla. Por fim, caso haja mais que uma variável dependente e mais que uma variável independente, o modelo é chamado de econométrico (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.1.2.1 Regressão linear simples

Considerando-se uma série de observações envolvendo duas variáveis, e plotando-as em um gráfico de dispersão bidimensional, a regressão linear simples tem o objetivo de encontrar a reta que seja a mais bem ajustada aos pontos, representada por (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983):

$$\hat{X}_Y = a + b * y \quad (36)$$

Em que:

\hat{X}_Y = previsão da demanda quando $y=Y$

y = variável independente

a = coeficiente da equação da reta que minimiza o erro

b = coeficiente da equação da reta que minimiza o erro

O critério para avaliação do ajuste da reta pode variar, mas a maneira mais convencional é a que utiliza a soma dos quadrados das distâncias verticais dos pontos à reta como referência para cálculo do erro, que resulta na seguinte equação: (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983)

$$e^2 = \sum(X_Y - \hat{X}_Y)^2 \quad (37)$$

Em que:

\hat{X}_Y = previsão da demanda quando $y = Y$

X_Y = demanda real quando $y = Y$

Nesse caso, os parâmetros da equação resultante da regressão linear podem ser calculados da seguinte maneira, sendo $(x,y)=(X,Y)$ os n pares de observações da base histórica (TERSINE, 1994):

$$b = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum(x^2) - (\sum x)^2} \quad (38)$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \cdot \frac{\sum x}{n} \quad (39)$$

Para medir a pertinência da análise de regressão linear para duas variáveis, pode-se utilizar o coeficiente de correlação, que tem valor entre -1 e 1. Quanto maior o valor absoluto desse coeficiente, maior o nível de associação entre as variáveis, sendo que um valor positivo indica que uma variável tende a aumentar conforme a outra aumenta, enquanto um valor negativo indica que uma variável tende a decrescer quando a outra aumenta. O coeficiente de correlação pode ser calculado da seguinte maneira (TERSINE, 1994):

$$r = \frac{[n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y]}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (40)$$

Vale ressaltar que, caso a variável independente y seja o tempo, o método de regressão linear pode, também, ser considerado um método de projeção (TERSINE, 1994).

2.2.1.2.2 Regressão linear múltipla

Em análises de regressão linear múltipla, mais de uma variável independente é utilizada para prever a variável dependente, o que pode ser representado pela seguinte equação (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983):

$$\hat{X} = a + b_1 * y_1 + b_2 * y_2 + \dots + b_n * y_n \quad (41)$$

Em que:

\hat{X} = variável dependente

y_i = variáveis independentes

a = coeficiente da equação da reta que minimiza o erro

b_i = coeficientes da equação da reta que minimizam o erro

O cálculo dos parâmetros da equação pode, novamente, ser feito com o objetivo de minimizar a soma dos quadrados dos desvios, o que é normalmente feito utilizando-se programas de computador (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

Nesse caso, o coeficiente de correlação é substituído por coeficientes de correlação parciais, que indicam a influência de cada variável independente na variável dependente, mantendo-se todas as outras variáveis independentes constantes (TERSINE, 1994). Deve-se dar atenção a casos de multicolinearidade, ou seja, situações em que há correlação entre variáveis independentes, o que faz com que o mesmo efeito seja considerado mais de uma vez. Caso isso ocorra, deve-se desconsiderar uma das variáveis da equação (TERSINE, 1994).

2.2.1.2.3 Modelo econométrico

Modelos econométricos são compostos por um conjunto de equações simultâneas que tem como objetivo representar as diversas interdependências entre as variáveis envolvidas em uma determinada situação (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983). Os modelos econométricos são úteis para previsões, mas são particularmente importantes para que se possa investigar o impacto de mudanças no ambiente organizacional em seu desempenho, com simulação de cenários (TERSINE, 1994).

Os modelos econométricos utilizados apenas para previsão são, geralmente, mais simples que os modelos de simulação de cenários. Um dos principais motivos para a criação de um modelo econométrico apenas para previsão é para que o valor de uma variável independente possa ser derivado, ao invés de estimado. Entretanto, independente da razão pela qual o modelo

econométrico for desenvolvido, ele é consideravelmente mais difícil de ser criado que métodos estatísticos alternativos, tanto por questões técnicas como por questões financeiras. Por isso, o uso de modelos econométricos é mais recomendado apenas para governos ou grandes corporações. (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

Caso decida-se utilizar um modelo econométrico, deve-se escolher o nível de detalhe a ser aplicado com cuidado, uma vez que pode ser gerada uma quantidade quase infinita de inter-relações, e os benefícios com o aumento da precisão do modelo não são necessariamente justificáveis frente aos custos adicionais a serem incorridos (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; MCGEE, 1983).

2.2.2 Cálculo de erros

Erros de previsão devem ser critérios de consideração para duas avaliações. Primeiro, os erros de previsão devem ser utilizados para auxiliar a decisão da técnica de previsão de demanda a ser utilizada. As diferentes técnicas são testadas em dados históricos e a que resultar na menor medida de erro é, normalmente, a escolhida. Uma vez escolhida, os erros devem ser utilizados para avaliar o sucesso da técnica escolhida e, caso existam, dos parâmetros pré-definidos (TERSINE, 1994).

A precisão do método pode ser medida pelo seu desvio e pelo seu viés. O desvio simplesmente representa o valor absoluto do erro médio. O viés indica a direção do erro, de modo que modelos com viés tendem a gerar previsões majoritariamente superestimadas ou subestimadas em relação aos valores reais. Por outro lado, modelos sem viés apresentam erros que flutuam aleatoriamente abaixo ou acima de zero. Uma técnica de previsão perfeita resultaria em desvio e, conseqüentemente, viés nulos (TERSINE, 1994).

Os principais métodos para mensuração do desvio são o erro médio absoluto (EMA) e o erro quadrático médio (EQM) (TERSINE, 1994). O erro médio absoluto e o erro quadrático médio podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i|}{n} \quad (42)$$

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n} \quad (43)$$

Em que:

\hat{x}_i = demanda prevista no período i

x_i = demanda real no período i

n = número de previsões

A diferença entre os métodos é que enquanto o EMA avalia todos os erros com o mesmo peso, o EQM atribui peso aos dados proporcionais ao quadrado de seus valores, penalizando erros de maior grandeza (TERSINE, 1994).

O método mais simples para cálculo do viés é o erro médio (EM) (TERSINE, 1994), que pode ser calculado da seguinte maneira:

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)}{n} \quad (44)$$

Os métodos principais para cálculos de desvio e de viés estão indicados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Medidas de erro

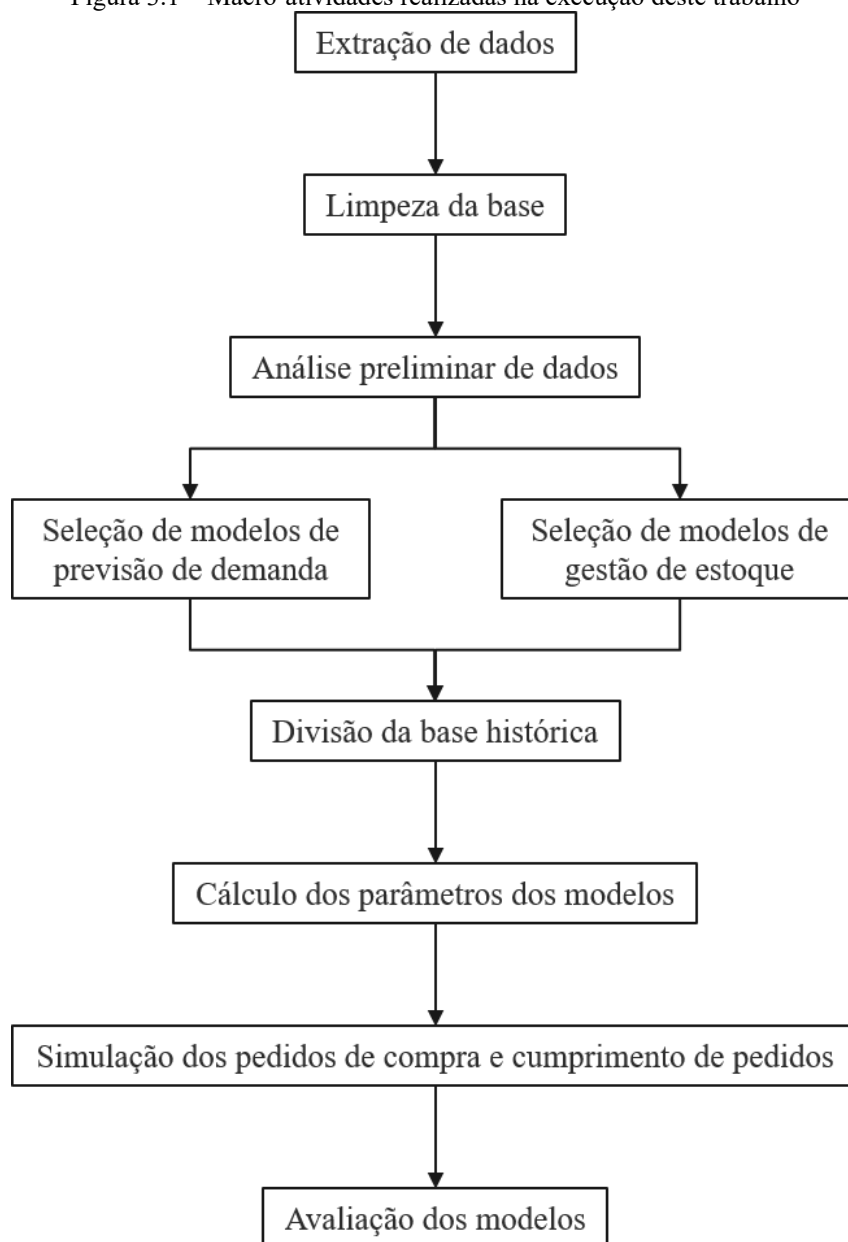
Medida	Tipo de erro	Fórmula	
Erro médio absoluto	Desvio	$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - \hat{X}_i }{n}$	(42)
Erro quadrático médio	Desvio	$EQM = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n}$	(43)
Erro médio	Viés	$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)}{n}$	(44)
Desvio padrão de regressão	Desvio	$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n - 2}}$	(45)
Erro médio absoluto percentual	Desvio	$EMAP = \frac{100 * \sum_{i=1}^n \left(\frac{ X_i - \hat{X}_i }{X_i}\right)}{n}$	(46)
Erro médio percentual	Viés	$EMP = \frac{100 * \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \hat{X}_i}{X_i}\right)}{n}$	(47)
Sinal de rastreamento	Viés	$SR = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)}{EMA}$	(48)

Fonte: Adaptado de Tersine (1994)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta uma descrição detalhada dos materiais e métodos utilizados nas etapas associadas à realização deste trabalho, baseados na revisão bibliográfica executada e apresentada no capítulo anterior. As etapas realizadas para execução deste trabalho podem ser identificadas na figura 3.1.

Figura 3.1 – Macro-atividades realizadas na execução deste trabalho



Fonte: Própria (2019)

3.1 EXTRAÇÃO DE DADOS

São extraídos dados de todas as vendas de escovas dentais realizadas desde 2015, com um nível de detalhamento por SKU por dia, incluindo mais de 170 SKUs diferentes. A EMPRESA começou a comercializar escovas dentais em 2011, mas devido à uma troca de sistema de gestão de vendas entre 2014 e 2015, dados anteriores à 2015 não estavam disponíveis.

De maneira a delimitar o escopo deste trabalho, os produtos são categorizados de acordo com dois fatores: disponibilidade e tempo. A disponibilidade indica se um produto já foi descontinuado ou não, e, caso ele já não seja mais comercializado pela EMPRESA, então não é considerado como objeto deste trabalho, uma vez que o objetivo é indicar qual é o modelo mais indicado para cada SKU, e a utilidade de um modelo de gestão de estoques para um SKU descontinuado é bastante limitada. Já em questão de tempo, há produtos que foram adicionados ao portfólio da EMPRESA há mais tempo do que outros, de maneira que a disponibilidade de dados históricos pode ser limitada em alguns casos, sendo a aplicabilidade dos modelos questionáveis. Por esse motivo, apenas produtos com histórico de vendas desde janeiro de 2015 são considerados. Dessa maneira, são selecionados 30 SKUs para serem analisados neste trabalho, que são os SKUs que são atualmente comercializados pela EMPRESA e que estão no portfólio da empresa desde o início de 2015.

3.2 LIMPEZA DA BASE

Uma vez extraídos os dados, é feita uma análise das vendas, em nível de detalhe de SKU e de mês, e também agregados, para verificar se valores muito discrepantes são observados. Em caso positivo, uma investigação aprofundada deve ser feita com os funcionários da EMPRESA, para verificar quais os motivos da discrepância e identificar maneiras de adaptar os valores obtidos para que sejam mais fidedignos a uma situação normalizada.

3.3 ANÁLISE PRELIMINAR DE DADOS

A análise preliminar de dados tem como objetivo identificar quais os produtos mais vendidos pela empresa e, conseqüentemente, a quais produtos se deve dar maior atenção. Para

isso, é feita uma análise ABC e o resultado dessa análise é utilizado como referência para determinação dos níveis mínimos de serviço desejados.

3.4 SELEÇÃO DE MODELOS

Neste trabalho, deve-se selecionar tanto modelos de gestão de estoques a serem testados, como também modelos de previsão de demanda, que devem ser testados para que o mais adequado seja selecionado e utilizado especificamente no modelo de gestão de estoques ativo.

3.4.1 Seleção de modelos de previsão de demanda

Os modelos de previsão de demanda escolhidos para serem testados são os modelos de média móvel simples, suavização exponencial simples, suavização exponencial com tendência e suavização exponencial com tendência e sazonalidade.

Os modelos são aplicados à base de dados extraída de maneira individual a cada um dos SKUs selecionados para serem analisados neste trabalho. Após a devida parametrização de cada um dos modelos, utilizando os dados históricos de 2015 e 2016, eles são testados em 2017 e 2018 e comparados com os dados reais da demanda. Com as saídas resultantes de cada modelo de previsão de demanda, os modelos são então comparados entre si utilizando-se o erro quadrático médio como referência, apresentada na equação (43).

O modelo de previsão de demanda escolhido especificamente para cada SKU para ser utilizado no modelo de gestão de estoques ativo é aquele que resultar no menor erro quadrático médio.

3.4.2 Seleção de modelos de gestão de estoques

Os modelos de gestão de estoques a serem testados são: modelo ativo de cálculo de necessidades e modelo reativo de reposição periódica pelo máximo. Os modelos de reposição contínua e o de estoque base não são testados por não possuírem uma aplicação viável ao contexto da EMPRESA.

3.4.2.1 Modelo de reposição contínua

O modelo reativo de reposição contínua não é utilizado neste trabalho. Neste modelo, toda vez que um produto atinge um nível mínimo de estoque, é feito um pedido deste único produto de quantidade igual à quantidade do lote econômico (QLE), apresentada na equação (7), em que se pode notar que quanto maior o custo de pedido e menor o custo de manutenção, maior é o QLE.

No caso da EMPRESA, que importa todos seus produtos da China, o custo de pedido é, em média, 1200 dólares. Já entre os possíveis custos de manutenção, o único considerado é o de oportunidade de capital, ou seja, o custo do próprio produto multiplicado por uma taxa de retorno. Isto porque outros custos de manutenção, como aluguel e seguro, podem ser considerados fixos ao invés de variáveis, uma vez que independem da quantidade de produtos em estoque, dado que, realisticamente, não se pretende implementar mudanças drásticas na EMPRESA, como mudança de local de operação. Além disso, a EMPRESA já possui uma operação enxuta, em questão de número de funcionários, de maneira que uma diminuição do quadro de funcionários também pode ser descartada. Dessa forma, considerando uma taxa de retorno de 6,42% ao ano, equivalente à taxa de CDI de 2018 (PORTAL DE FINANÇAS, 2019), e preço de compra de 1,98 dólares por unidade, seus custos de manutenção anuais são de 0,13 dólares por ano por unidade, que possuem ordem de grandeza expressivamente menor que o custo de pedido.

Por isso, a utilização da quantidade do lote econômico resultaria em quantidades excessivamente grandes para cada item, em quantidades absolutas e em relação à demanda, sendo inadequado para as operações da EMPRESA.

Além disso, dado que a EMPRESA importa todas suas escovas dentais de um único fornecedor, é mais adequado adquirir diferentes SKUs no mesmo pedido devido à praticidade gerada para a EMPRESA, evitando a compra de quantidades desnecessariamente excessivas de mercadorias, e facilitando processos como o de pagamento e o de transporte.

Por essas razões, o modelo de gestão de estoques contínuo não será contemplado nas simulações deste trabalho.

3.4.2.2 Modelo de estoque base

Por outro lado, o modelo de estoque base prevê a realização de um pedido de reposição a cada saída do SKU de maneira a repor a um nível máximo pré-definido, e é particularmente

pertinente para produtos com alto valor e demanda reduzida, e que podem e devem ser analisados com maior nível de atenção.

Dado que o objeto de estudo desse trabalho são escovas dentais, que possuem baixo valor, e que cada SKU possui demanda mensal da ordem de grandeza de milhares, o modelo de estoque base também não é adequado para as operações da EMPRESA e não é incluído nos testes deste trabalho.

3.5 DIVISÃO DA BASE HISTÓRICA

A base histórica de cada produto a ser estudado é dividida em duas séries com horizonte de tempo igual, uma utilizada para inicialização e a outra para testes dos modelos.

No caso do modelo de gestão de estoques ativo, a primeira parte é utilizada para determinação do modelo de previsão de demanda mais adequado para cada SKU, já devidamente parametrizado, e a segunda parte é utilizada para aplicação do modelo de gestão de estoques de cálculo de necessidades e apuração de indicadores.

No caso do modelo de gestão de estoques reativo de reposição pelo máximo, a primeira metade da base de dados é utilizada para cálculo do nível máximo do estoque, e a segunda para aplicação do modelo de gestão de estoques.

Dessa maneira, a base é dividida em uma série de dados contendo os valores referentes a janeiro de 2015 a dezembro de 2016 e uma segunda série de dados contendo os valores de janeiro de 2017 a dezembro de 2018.

3.6 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DOS MODELOS

Tanto os modelos de previsão de demanda como os modelos de gestão de estoques possuem parâmetros que devem ser calculados antes que eles possam ser aplicados. Esta subseção apresenta a metodologia que deve ser utilizada para cálculo desses parâmetros.

3.6.1 Modelos de previsão de demanda

Cada um dos modelos de previsão de demanda a serem testados neste trabalho possuem uma metodologia diferente para cálculo de seus parâmetros e serão apresentadas nesta subseção.

3.6.1.1 Média móvel simples

A média móvel simples, apresentada na equação (19) considera que a demanda do próximo período pode ser aproximada pela demanda pelo produto em um número pré-determinado dos períodos mais recentes, que deve variar entre 3 e 8. Para utilização deste modelo, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- a) calcular as previsões de demanda de 2015 e 2016, para n entre 3 e 8;
- b) calcular o erro quadrático médio resultante para cada n ;
- c) selecionar o valor de n que resultar no menor erro quadrático médio.

3.6.1.2 Suavização exponencial simples

O modelo da suavização exponencial simples, mostrado na equação (25), atribui pesos que variam exponencialmente aos dados, dando maior importância aos dados mais recentes, mas sem desconsiderar nenhum dado passado. Para a parametrização desse modelo, deve-se:

- a) calcular a previsão de demanda de janeiro de 2016 utilizando a média da demanda de 2015;
- b) calcular as previsões de demanda dos meses restantes de 2016 para α entre 0 e 1;
- c) calcular o erro quadrático médio resultante para cada α ;
- d) selecionar o valor de α que resultar no menor erro quadrático médio.

3.6.1.3 Suavização exponencial com tendência

O modelo de suavização exponencial com tendência, representado pelas equações (26), (27) e (28), envolve o cálculo, além do parâmetro α , de um parâmetro adicional β , para que o

modelo possa ser melhor aplicado a séries com tendência. Para parametrizar este modelo, deve-se:

- a) calcular a tendência inicial T_0 utilizando a inclinação da reta resultante da regressão linear da demanda mês a mês de 2015;
- b) calcular a base inicial B_0 utilizando a reta obtida a partir dos dados de 2015;
- c) calcular as previsões de demanda de 2016 para α e β entre 0 e 1;
- d) calcular o erro quadrático médio resultante para cada par de α e β ;
- e) selecionar o par de valores de α e β que resultar no menor erro quadrático médio.

3.6.1.4 Suavização exponencial com tendência e sazonalidade

Em adição aos parâmetros α e β utilizados no método de suavização exponencial com tendência, o modelo de suavização exponencial com tendência e sazonalidade, composto pelas equações (32), (33), (34) e (35), também inclui uma terceira variável γ , que torna este modelo mais adequado para séries de dados que possuam tanto tendência quanto sazonalidade. Para parametrização deste modelo, deve-se:

- a) calcular a tendência inicial T_0 utilizando a inclinação da reta da demanda mês a mês de 2015;
- b) calcular o índice de sazonalidade de cada período, dividindo a demanda de cada mês de 2015 pela demanda média de 2015;
- c) calcular a base inicial B_0 , utilizando o valor da demanda do primeiro período de 2016 dividido por seu índice de sazonalidade e subtraindo-se o índice de tendência inicial;
- d) calcular as previsões de demanda de 2016 para α , β e γ entre 0 e 1;
- e) calcular o erro quadrático médio resultante para cada trio de valores de α , β e γ ;
- f) selecionar o trio de valores de α , β e γ que resultar no menor erro quadrático médio.

3.6.2 Modelos de gestão de estoques

Tanto o modelo de gestão de estoques de cálculo de necessidades como o modelo de reposição pelo máximo necessitam do cálculo do estoque de segurança para que possam ser

aplicados. Adicionalmente, o nível máximo de estoque também deve ser determinado, no caso do modelo de reposição pelo máximo. Esta subseção apresenta o procedimento a ser seguido para parametrização desses modelos.

3.6.2.1 Modelo de cálculo de necessidades

Para utilização do modelo de cálculo de necessidades, composto pelas equações (15) e (16), deve-se:

- a) determinar o fator de segurança k de cada SKU;
- b) calcular os desvios padrão dos erros de previsão do período de revisão e do *lead time* de reposição associado ao método de previsão de demanda selecionado para cada SKU;
- c) determinar estoque de segurança.

3.6.2.2 Modelo de reposição pelo máximo

Para utilização do modelo de reposição pelo máximo, composto pelas equações (10), (11) e (12), deve-se seguir os seguintes passos:

- a) calcular a demanda média mensal de cada SKU em 2015 e 2016;
- b) calcular a demanda média para o período de revisão e *lead time* de reposição;
- c) calcular o desvio padrão da demanda para o período de revisão e *lead time* de reposição;
- d) determinar o fator de segurança k de cada SKU;
- e) determinar o estoque de segurança;
- f) calcular o nível máximo do estoque.

3.6.3 Testes de normalidade

O cálculo dos estoques de segurança nos modelos de gestão de estoques de reposição pelo máximo e de cálculo de necessidades assume que certos dados apresentam distribuição normal. Por isso, a avaliação da suposição de normalidade dos dados é necessária para o cálculo de parâmetros estatísticos, uma vez que, caso a hipótese de normalidade seja falsa, não é possível fazer análises precisas e confiáveis (GHASEMI; ZAHEDIASL, 2012).

Em conjuntos de dados com mais de 40 entradas, é dispensável a utilização de testes de normalidade, uma vez que a distribuição da amostra tende a ser normal independente da forma dos dados (GHASEMI; ZAHEDIASL, 2012).

Há diversos testes para testar a normalidade de uma série de dados, sendo alguns dos principais: Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Jarque-Bera (GHASEMI; ZAHEDIASL, 2012). Neste trabalho, especificamente, para testar a hipótese de normalidade dos dados, é utilizado o teste de Anderson-Darling, implementado utilizando-se a ferramenta Microsoft Excel.

A série de dados que deve apresentar distribuição normal é diferente para o modelo de reposição pelo máximo e para o modelo de cálculo de necessidades. Enquanto no modelo de reposição pelo máximo o conjunto que deve apresentar distribuição normal é a demanda mensal, no caso do modelo de cálculo de necessidades, o conjunto que deve apresentar distribuição normal é a diferença da demanda prevista e da demanda real. O critério utilizado para aceitar a hipótese de que a série apresenta distribuição normal é p-valor maior que 0,05.

3.7 SIMULAÇÃO DOS PEDIDOS DE COMPRA E ATENDIMENTO DE PEDIDOS

Com os modelos adequadamente parametrizados, faz-se, então, a simulação da quantidade a ser pedida em 2017 e 2018, mês a mês, de cada SKU, considerando as quantidades em estoque, os pedidos a serem recebidos, as previsões resultantes de cada modelo e a demanda real pelo produto.

As seguintes premissas são adotadas: *lead time* determinístico de quatro meses, período de revisão de um mês, nível de serviço de 95% (que resulta em um fator de segurança de 1,65), e estoque no início de 2017 equivalente à quantidade necessária para suprir a demanda média de 2016 por cinco meses.

A estimativa do estoque inicial foi adotada uma vez que a EMPRESA comercializa escovas dentais desde 2011, mas devido a uma mudança de sistema entre 2014 e 2015, não há acesso a dados anteriores a 2015, nem ao estoque inicial real de cada produto em janeiro de 2015. Por esse motivo, o desempenho real da EMPRESA também é simulado, considerando as compras e vendas reais, mas com uma estimativa do estoque inicial em 2015.

3.8 AVALIAÇÃO DOS MODELOS

O principal indicador da eficiência dos modelos a ser considerado é o custo total com estoque para a empresa nos anos de 2017 e 2018, considerando os dois modelos de gestão de estoques aplicados e os pedidos de reposição reais feitos. O método atual para definição dos pedidos de reposição pode ser considerado como uma variação do método qualitativo de júri de opinião executiva, mas com o júri composto apenas pelo administrador da EMPRESA.

Além dos custos, indicadores adicionais também são considerados, sendo eles: giro de estoque e nível de serviço. O custo total relacionado a estoque pode ser calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$C_T = C_A + C_M + C_F \quad (49)$$

Em que:

C_T = custo total com estoques em 2017 e 2018

C_A = custo de aquisição – no caso, preço de compra dos produtos, somado ao frete

C_M = custo de manutenção – no caso, preço de compra dos produtos multiplicado por uma taxa de retorno de 6,42% ao ano, considerando tempo parado em estoque

C_F = custo de falta de estoque – no caso, preço de venda da demanda não atendida

Para cálculo do custo total com estoque, algumas premissas são adotadas. Fixa-se, para todos os períodos, como o preço de compra dos produtos os preços cobrados pelo fornecedor em julho de 2019. Além disso, considera-se como o custo do frete o custo médio dos fretes pagos em 2019, de 1200 dólares por contêiner. A taxa relativa ao custo de oportunidade é de 6,42% ao ano, equivalente ao CDI de 2018.

Tanto o custo de aquisição quanto o custo de manutenção são calculados em dólares, uma vez que a referência deles é o preço cobrado pelo fornecedor, que é em dólares. Entretanto, o custo de faltas é incorrido em reais, uma vez que a referência é o preço cobrado pela EMPRESA. Para que todos os custos possam ser comparados, devem ser considerados na mesma base temporal e devem ser convertidos à mesma moeda e, para isso, considera-se uma

taxa de câmbio de real para dólar fixa, de 3.8748 para 1, equivalente à taxa de câmbio do real para dólar comercial em 31 de dezembro de 2018 (UOL ECONOMIA, 2019).

No caso do indicador nível de serviço, foi considerada a porcentagem da quantidade de produtos demandados que são entregues.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo apresenta as saídas resultantes da aplicação dos materiais e métodos, previamente descritos, à EMPRESA, e análises realizadas a partir dos resultados obtidos.

4.1 ANÁLISE ABC

A análise ABC realizada considerou apenas as vendas de 2018 de cada um dos 30 SKUs selecionados. Uma análise da participação de cada um dos SKUs nas vendas em 2018 (em unidades) da EMPRESA pode ser verificada na tabela 4.1, em que os SKUs são apresentados em ordem decrescente de *share* de vendas.

Tabela 4.1 – *Share* de vendas de cada SKU e *share* de vendas acumulado em 2018

Produto	% vendas	% vendas acumuladas	Produto	% vendas	% vendas acumuladas
1	4,90%	4,90%	16	3,56%	62,77%
2	4,72%	9,61%	17	3,53%	66,30%
3	4,27%	13,88%	18	3,48%	69,78%
4	4,05%	17,93%	19	3,43%	73,21%
5	3,94%	21,88%	20	3,42%	76,63%
6	3,94%	25,81%	21	3,21%	79,84%
7	3,91%	29,73%	22	3,14%	82,98%
8	3,79%	33,52%	23	2,60%	85,58%
9	3,76%	37,27%	24	2,57%	88,15%
10	3,72%	40,99%	25	2,48%	90,63%
11	3,70%	44,69%	26	2,46%	93,09%
12	3,68%	48,37%	27	2,39%	95,48%
13	3,68%	52,04%	28	1,72%	97,20%
14	3,61%	55,65%	29	1,68%	98,88%
15	3,56%	59,21%	30	1,12%	100,00%

Fonte: Própria (2019)

Como pode-se notar, não há diferenças discrepantes nas vendas de cada produto, de maneira que nenhum produto é responsável por uma porcentagem muito grande das vendas da empresa, assim como nenhum produto representa parcela desprezível. A realização da análise ABC resulta nos dados apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Classificação ABC

Classe	<i>Share</i> acumulado de vendas (x)	Quantidade de SKUs	% de SKUs
A	$0 < x < 80\%$	21	70%
B	$80\% < x < 95\%$	5	17%
C	$x > 95\%$	4	13%
Total	-	30	100%

Fonte: Própria (2019)

Devido ao fato de haver pouca variação na participação das vendas para cada SKU, a classificação ABC resulta em uma quantidade excessivamente grande de SKUs classificados como A, o que vai contra o propósito da própria classificação ABC, que é possibilitar a priorização de poucos itens que representam a grande maioria das vendas de uma organização.

Por esse motivo, ao invés de utilizar a classificação ABC para determinar o nível de serviço desejado para cada SKU, decidiu-se estabelecer um valor fixo de 95% para todos os itens. Esse valor é utilizado para determinação do fator de segurança ao calcular o estoque de segurança de cada SKU em cada um dos modelos de gestão de estoques e, para um nível de atendimento de 95%, o fator de segurança é igual a 1,65.

4.2 PARAMETRIZAÇÃO

A base de dados foi dividida em duas partes de igual tamanho, para que os modelos de gestão de estoques e os modelos de previsão de demanda a serem testados pudessem ser parametrizados utilizando-se a primeira metade. Esta seção apresenta os resultados da parametrização.

4.2.1 Modelo de cálculo de necessidades

Neste modelo, que utiliza previsão de demanda, os métodos de previsão de demanda de média móvel simples, suavização exponencial simples, suavização exponencial com tendência e suavização exponencial com tendência e sazonalidade foram testados em cada um dos 30 SKUs, utilizando-se os dados de 2015 e 2016. A partir disso, foi possível calcular o erro quadrático médio de cada um dos métodos e selecionar um método específico adequado a cada um dos SKUs, devidamente parametrizado. A tabela 4.3 apresenta o erro quadrático médio associado a cada método de previsão de demanda aplicado a cada SKU, e o método selecionado para fazer a previsão de demanda de cada SKU, especificamente. Já a tabela 4.4 apresenta os parâmetros associados ao método de previsão de demanda escolhido para cada SKU.

Tabela 4.3 – Método de previsão de demanda escolhido para cada SKU

(continua)

#	EQM				Método selecionado
	Média móvel	Suav. Exp. Simples	Suav. Exp. Com Tend.	Suav. Exp. Com Tend. e Saz.	
1	404987	370599	372398	274699	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.
2	88703	53988	56562	99108	Suav. Exp. Simples
3	259410	160793	146678	225342	Suav. Exp. Com Tend.
4	92120	50216	66132	123974	Suav. Exp. Simples
5	457973	407554	714312	374382	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.
6	158083	139353	152342	173863	Suav. Exp. Simples
7	58319	79735	84926	135981	Média móvel
8	127463	151313	120735	289252	Suav. Exp. Com Tend.
9	170187	167759	186772	200158	Suav. Exp. Simples
10	311440	424169	500728	281820	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.
11	90862	89915	135244	206729	Suav. Exp. Simples
12	24686	123160	154155	143025	Média móvel
13	143163	139329	139135	267205	Suav. Exp. Com Tend.
14	532586	666514	724294	955251	Média móvel
15	72322	70128	91622	178245	Suav. Exp. Simples

Tabela 4.3 – Método de previsão de demanda escolhido para cada SKU

(conclusão)

EQM					Método selecionado
#	Média móvel	Suav. Exp. Simples	Suav. Exp. Com Tend.	Suav. Exp. Com Tend. e Saz.	
16	63841	49235	98927	56909	Suav. Exp. Simples
17	93373	40758	39039	105677	Suav. Exp. Com Tend.
18	88387	82948	108857	199075	Suav. Exp. Simples
19	67489	41440	56476	193507	Suav. Exp. Simples
20	86827	49165	48988	281986	Suav. Exp. Com Tend.
21	98760	99140	99937	146259	Média móvel
22	137423	99424	102554	143291	Suav. Exp. Simples
23	99559	123010	117157	79448	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.
24	12399	40828	49243	60711	Média móvel
25	24888	29241	28870	32533	Média móvel
26	185967	207148	192072	286922	Média móvel
27	27355	19160	22520	40267	Suav. Exp. Simples
28	11223	13508	16385	51548	Média móvel
29	72400	78453	84003	87353	Média móvel
30	50811	76494	91084	106857	Média móvel

Fonte: Própria (2019)

Uma análise desconsiderando o contexto da EMPRESA pode levar à conclusão de que as previsões feitas são excessivamente imprecisas, dado que os erros quadráticos médios dos métodos selecionados variam de 11223 a 523586. Entretanto, considerando-se que a demanda mensal por cada SKU é da ordem de grandeza de milhares, e que ela pode apresentar variações de demanda significativas de um mês para o outro, pode-se considerar que os métodos de previsão de demanda são efetivos. As raízes dos erros quadráticos médios selecionados variam de 106 a 730.

Tabela 4.4 – Parâmetros associados aos métodos de previsão de demanda selecionados para cada SKU

#	Método	n	alfa	beta	gama
1	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.	-	0,24	0,02	0,27
2	Suav. Exp. Simples	-	0,16	-	-
3	Suav. Exp. Com Tend.	-	0,04	0,22	-
4	Suav. Exp. Simples	-	0,2	-	-
5	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.	-	0,02	0,77	0,16
6	Suav. Exp. Simples	-	0,03	-	-
7	Média móvel	7	-	-	-
8	Suav. Exp. Com Tend.	-	0,32	0,49	-
9	Suav. Exp. Simples	-	0,28	-	-
10	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.	-	0,30	0,06	0,07
11	Suav. Exp. Simples	-	0,03	-	-
12	Média móvel	6	-	-	-
13	Suav. Exp. Com Tend.	-	0,01	0,17	-
14	Média móvel	5	-	-	-
15	Suav. Exp. Simples	-	0,32	-	-
16	Suav. Exp. Simples	-	0,07	-	-
17	Suav. Exp. Com Tend.	-	0,09	0,41	-
18	Suav. Exp. Simples	-	0,01	-	-
19	Suav. Exp. Simples	-	0,14	-	-
20	Suav. Exp. Com Tend.	-	0,18	0,21	-
21	Média móvel	5	-	-	-
22	Suav. Exp. Simples	-	0,05	-	-
23	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.	-	0,02	0,12	0,08
24	Média móvel	6	-	-	-
25	Média móvel	6	-	-	-
26	Média móvel	8	-	-	-
27	Suav. Exp. Simples	-	0,33	-	-
28	Média móvel	7	-	-	-
29	Média móvel	4	-	-	-
30	Média móvel	3	-	-	-

Fonte: Própria (2019)

4.2.1.1 Teste de normalidade

Para realização do teste de normalidade, foi aplicado o teste de Anderson-Darling aos erros resultantes das previsões de 2015 e 2016 de cada um dos métodos selecionados para cada um dos SKUs, cujos resultados podem ser observados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Aplicação do teste de Anderson-Darling para cada SKU para o modelo de cálculo de necessidades

#	p-valor	Distribuição normal?	#	p-valor	Distribuição normal?
1	0,62	Sim	16	0,29	Sim
2	0,35	Sim	17	0,60	Sim
3	0,85	Sim	18	0,86	Sim
4	0,20	Sim	19	0,39	Sim
5	0,99	Sim	20	0,13	Sim
6	0,31	Sim	21	0,34	Sim
7	0,22	Sim	22	0,77	Sim
8	0,12	Sim	23	0,39	Sim
9	0,25	Sim	24	0,21	Sim
10	0,46	Sim	25	0,24	Sim
11	0,53	Sim	26	0,16	Sim
12	0,85	Sim	27	0,11	Sim
13	0,96	Sim	28	0,12	Sim
14	0,22	Sim	29	0,24	Sim
15	0,86	Sim	30	0,98	Sim

Fonte: Própria (2019)

Como pode-se notar, neste caso, pode-se assumir que as séries de erros de previsão de cada um dos SKUs possuem distribuição normal, podendo ser, portanto, utilizada a fórmula de estoque de segurança previamente descrita.

4.2.2 Modelo de reposição pelo máximo

No modelo de reposição pelo máximo, utilizou-se da primeira metade da base de dados para cálculo do nível máximo de estoque (S), levando em consideração o desvio padrão e a média da demanda, além do nível de serviço pré-estabelecido de 95%. O nível máximo de estoque pode ser verificado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Nível máximo de estoque de cada SKU`

#	Nível máximo	#	Nível máximo
1	20121	16	10921
2	13884	17	11302
3	18314	18	10932
4	11940	19	9881
5	16639	20	8439
6	13309	21	11825
7	9954	22	12084
8	13883	23	7151
9	11700	24	8404
10	17660	25	4865
11	12072	26	14061
12	13196	27	7758
13	13449	28	5503
14	13809	29	9547
15	11125	30	5705
16	10921	17	11302

Fonte: Própria (2019)

4.2.2.1 Teste de normalidade

Os valores apontados na tabela 4.6 são válidos caso a série de dados da demanda de cada SKU apresente distribuição normal. A aplicação do teste de Anderson-Darling aos conjuntos de dados resulta nos dados apresentados na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Aplicação do teste de Anderson-Darling para cada SKU para o modelo de reposição pelo máximo

#	p-valor	Distribuição normal?
1	0,05	Sim
2	0,23	Sim
3	0,17	Sim
4	0,17	Sim
5	0,64	Sim
6	0,22	Sim
7	0,13	Sim
8	0,15	Sim
9	0,15	Sim
10	0,81	Sim
11	0,80	Sim
12	0,24	Sim
13	0,44	Sim
14	0,19	Sim
15	0,52	Sim
16	0,09	Sim
17	0,08	Sim
18	0,28	Sim
19	0,00	Não
20	0,06	Sim
21	0,11	Sim
22	0,50	Sim
23	0,06	Sim
24	0,26	Sim
25	0,25	Sim
26	0,14	Sim
27	0,10	Sim
28	0,05	Sim
29	0,22	Sim
30	0,06	Sim

Fonte: Própria (2019)

Como pode-se notar, apenas o produto 19 não apresenta demanda com distribuição normal. No caso deste produto, o nível máximo de estoque foi calculado empiricamente, uma vez que seu valor teórico pode apresentar um valor distorcido devido ao fato de o conjunto de dados não ser aderente à distribuição normal.

Para esse caso específico, utilizou-se a ferramenta Solver do Excel para calcular o nível mínimo do estoque de segurança que permita um nível de atendimento da demanda de, pelo menos, 95%. O estoque de segurança teórico de 2941 passou para 2133, e o nível máximo de estoque passou de 9881 para 9073.

4.3 SIMULAÇÃO DE COMPRAS E VENDAS

Com os modelos de gestão de estoques devidamente parametrizados, realizou-se uma simulação de atendimento de pedidos, compra de produtos e níveis de estoque, mês a mês, nos meses de 2017 e 2018, utilizando-se os dados de vendas reais.

Para a simulação, foi criada uma tabela para estimar os pedidos de reposição feitos, a demanda atendida e as vendas perdidas. Essa tabela foi utilizada para cada um dos 30 SKUs e cada um dos dois modelos de gestão de estoques, além da simulação da situação real, resultando em 90 simulações diferentes. A tabela 4.8 apresenta parte desta tabela aplicada a um dos produtos, no modelo de gestão de estoques de cálculo de necessidades.

Tabela 4.8 – Fragmento de simulação de atendimento de pedidos e reestocagem

	Jan-17	Feb-17	Mar-17	Apr-17	May-17	Jun-17
Demanda	2592	1848	2040	408	1704	1032
Previsão	9307	9517	9277	9697	6922	7267
A receber	0	0	0	0	2736	2808
Estoque inicial	11267	8675	6827	4787	7115	8219
Demanda atendida	2592	1848	2040	408	1704	1032
Pedido	2736	2808	1608	2448	0	0
Falta	0	0	0	0	0	0
Estoque final	8675	6827	4787	4379	5411	7187

Fonte: Própria (2019)

4.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS

O principal critério para a escolha do modelo de gestão de estoques mais adequado para cada SKU é o custo total com estoques. A tabela 4.9 apresenta os custos totais com estoque associados a cada SKU em cada um dos dois modelos de gestão de estoques simulados e o modelo que é, conseqüentemente, o mais adequado para o SKU em questão. Por questão de confidencialidade, os valores reais foram camuflados, de maneira que o custo no modelo de cálculo de necessidades foi considerado como “X” e o custo no modelo de reposição pelo máximo é apresentado em relação a “X”. A tabela 4.10 apresenta a distribuição dos modelos de gestão de estoques escolhidos para os SKUs, e também dos métodos de previsão de demanda, no caso de o modelo escolhido ter sido o de cálculo de necessidades.

Tabela 4.9 – Modelo de gestão de estoques escolhido para cada SKU

(continua)

#	Custo total com estoque (USD)		Modelo escolhido
	Cálculo de necessidades	Reposição pelo máximo	
1	X	X + 5922	Cálculo de necessidades
2	X	X - 262	Reposição pelo máximo
3	X	X + 17860	Cálculo de necessidades
4	X	X + 1152	Cálculo de necessidades
5	X	X + 7345	Cálculo de necessidades
6	X	X + 2700	Cálculo de necessidades
7	X	X - 6209	Reposição pelo máximo
8	X	X - 17165	Reposição pelo máximo
9	X	X - 1154	Reposição pelo máximo
10	X	X + 14022	Cálculo de necessidades
11	X	X + 3200	Cálculo de necessidades
12	X	X - 291	Reposição pelo máximo
13	X	X + 9806	Cálculo de necessidades
14	X	X - 15207	Reposição pelo máximo
15	X	X - 5904	Reposição pelo máximo
16	X	X + 571	Cálculo de necessidades
17	X	X - 9899	Reposição pelo máximo
18	X	X + 733	Cálculo de necessidades

Tabela 4.9 – Modelo de gestão de estoques escolhido para cada SKU

(conclusão)

#	Custo total com estoque		Modelo escolhido
	Cálculo de necessidades	Reposição pelo máximo	
19	X	X + 362	Cálculo de necessidades
20	X	X - 1475	Reposição pelo máximo
21	X	X - 13052	Reposição pelo máximo
22	X	X + 367	Cálculo de necessidades
23	X	X - 9927	Reposição pelo máximo
24	X	X - 6725	Reposição pelo máximo
25	X	X - 8422	Reposição pelo máximo
26	X	X + 14029	Cálculo de necessidades
27	X	X - 5999	Reposição pelo máximo
28	X	X - 1103	Reposição pelo máximo
29	X	X - 2950	Reposição pelo máximo
30	X	X - 21958	Reposição pelo máximo

Fonte: Própria (2019)

Tabela 4.10 – Distribuição dos métodos de gestão de estoques e previsão de demanda selecionados

Reposição pelo máximo	Cálculo de necessidades			
	Média móvel	Suav. Exp. Simples	Suav. Exp. Com Tend.	Suav. Exp. Com Tend. E Saz.
17	1	7	2	3

Fonte: Própria (2019)

Para avaliação da efetividade dos resultados deste trabalho, além, do custo total com estoque, foram considerados também os indicadores giro de estoque e nível de serviço. Para fins de comparação, foram calculados esses indicadores no caso de todos os SKUs serem gerenciados utilizando o modelo de cálculo de necessidades e também utilizando o modelo de reposição pelo máximo, além da situação que otimiza o resultado desses dois modelos e da situação real simulada. O valor desses indicadores pode ser observado na tabela 4.11. Por questão de confidencialidade, o custo total com estoque foi camuflado, de maneira que se estabeleceu a situação real como *baseline* para os modelos simulados.

Tabela 4.11 – Critérios de avaliação das simulações

Indicador	Cálculo de necessidades	Reposição pelo máximo	Otimizado	Situação real
Custo com Estoque (US\$)	X+52986	X-51983	X-80656	X
Giro de Estoque	6,15	6,51	7,18	5,52
Nível de serviço	97,86%	98,63%	98,26%	99,96%

Fonte: Própria (2019)

Como é possível ver, a escolha dos modelos de gestão de estoques que otimizam os custos totais com estoque da EMPRESA geral uma economia de aproximadamente oitenta mil dólares em relação à simulação da situação real, considerando-se um período de dois anos, além de uma redução no estoque parado, evidenciado pelo giro de estoque significativamente maior.

O nível de serviço obtido com os modelos propostos é ligeiramente menor, mas ainda é bastante alto. Deve-se notar que, em teoria, o nível de serviço calculado para a situação real deveria ser de 100%, uma vez que a EMPRESA não mantém histórico de pedidos perdidos, de maneira que apenas as vendas foram incluídas na demanda. Entretanto, como o estoque inicial foi estimado, houve casos em que a demanda não pôde ser atendida.

Dessa maneira, decidiu-se pela criação de uma ferramenta de gestão estoques para a EMPRESA que utilize os modelos de gestão de estoques selecionados especificamente para cada SKU como base para calcular o tamanho do lote de cada produto a ser pedido, mês a mês.

4.5 FERRAMENTA DE GESTÃO DE ESTOQUES

Para que o conteúdo das informações descobertas neste trabalho possa ser aplicado à situação da empresa, foi criada uma ferramenta no software Microsoft Excel que calcula o tamanho dos lotes a serem pedidos para cada um dos 30 itens analisados.

A ferramenta possui quatro abas: “Hist_pedidos”, “Nivel_estoque”, “Calculo_lote” e “Parametros”. Para que essa ferramenta possa ser utilizada, a EMPRESA deve fazer o inventário dos produtos em estoque na atualidade, uma vez que não há controle real dos níveis de estoque de cada uma das mercadorias. Uma vez feito os inventários, os dados obtidos devem ser adicionados à aba “Nivel_estoque” e, a partir de então, os níveis de estoque serão atualizados de acordo com as compras e vendas realizadas mensalmente.

Uma vez adicionados os níveis de estoque, a aba “Hist_pedidos” é a única a ser editada pelos funcionários, em situação de normalidade. Nela, deve-se exportar do software de gestão de vendas os dados mais recentes de vendas da EMPRESA e adicioná-los às últimas linhas da planilha. A tabela 4.12 apresenta a maneira como esses dados são exportados em formato .xls, com alguns dados ocultados.

Tabela 4.12 – Exemplo de dados de vendas exportada do software de gestão da EMPRESA

MÊS	ANO	Nr. Lcto	Razão Social	Nat. Oper.	Vendedor	Cód. Prod.	Descrição	Qtd. Lcto.
1	2015	14941		5403		S199		48
1	2015	14941		5403		222A		96
1	2015	14941		5403		AL-03		120
1	2015	14942		5403		AL-03		144
1	2015	14942		5403		222A		72
1	2015	14943		6102		241		24
1	2015	14943		6102		236		24
1	2015	14943		6102		237		24
1	2015	14943		6102		S480		24
1	2015	14943		6102		S199		48

Fonte: Própria (2019)

A aba “Nivel_estoque” calcula o nível de estoque no primeiro dia de cada mês, data em que os pedidos são mandados para o fornecedor da EMPRESA, utilizando o nível de estoque no início do mês anterior e a demanda por cada produto. A figura 4.1 ilustra o conteúdo desta aba.

Figura 4.1 – Ilustração do conteúdo da aba “Nivel_estoque”, utilizada para calcular o nível do estoque de cada SKU mês a mês

Produto	ago/19	set/19	out/19	nov/19
1	1000	2000	3000	4000
2	1000	2000	3000	4000
3	1000	2000	3000	4000
4	1000	2000	3000	4000
5	1000	2000	3000	4000
6	1000	2000	3000	4000
7	1000	2000	3000	4000
8	1000	2000	3000	4000
9	1000	2000	3000	4000
10	1000	2000	3000	4000
11	1000	2000	3000	4000
12	1000	2000	3000	4000
13	1000	2000	3000	4000
14	1000	2000	3000	4000
15	1000	2000	3000	4000

Estoque inicial -
input da empresa

Campos calculados
considerando estoque do
mês anterior, vendas do
mês anterior e pedidos
de reposição recebidos

Fonte: Própria (2019)

A aba “Calculo_lote” calcula automaticamente a quantidade a ser pedida em cada mês, utilizando as fórmulas dos modelos de gestão de estoques selecionados para cada um dos SKUs, como pode-se observar na figura 4.2.

Figura 4.2 – Ilustração do conteúdo da aba “Calculo_lote”, utilizada para calcular o tamanho do lote de reposição de cada SKU, mês a mês

Mês recebido	set/19	out/19	nov/19	dez/19	jan/20
Mês pedido	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19
1	1000	1000	1000	1000	19425
2	1000	1000	1000	1000	10783
3	1000	1000	1000	1000	17300
4	1000	1000	1000	1000	9099
5	1000	1000	1000	1000	15826
6	1000	1000	1000	1000	10888
7	1000	1000	1000	1000	7323
8	1000	1000	1000	1000	11374
9	1000	1000	1000	1000	9473
10	1000	1000	1000	1000	16851
11	1000	1000	1000	1000	9478
12	1000	1000	1000	1000	11575
13	1000	1000	1000	1000	10941
14	1000	1000	1000	1000	13488
15	1000	1000	1000	1000	8230

Pedidos feitos nos 4 meses anteriores ao início da utilização da ferramenta - input da empresa

Campo calculado do lote a ser pedido em set/19, de acordo com fórmulas dos modelos de gestão de estoques selecionados

Fonte: Própria (2019)

Por fim, a aba “Parametros” guarda os parâmetros necessários para utilização dos modelos, que são no caso do modelo de reposição pelo máximo, o estoque de segurança, a demanda esperada durante o *lead time* de reposição e o período de revisão de cada SKU, o desvio padrão da demanda e o nível de serviço desejado, além de parâmetros como *lead time* de reposição e período de revisão. Esses parâmetros devem ser utilizados para cálculo do nível máximo de estoque de cada SKU, e optou-se por guardar cada um desses dados separadamente para que, caso alguma mudança seja necessária, seja possível calcular o nível máximo de estoque alterando apenas os fatores que precisem ser ajustados.

Já no caso do modelo de cálculo de necessidades, os parâmetros necessários são estoque de segurança, *lead time* de reposição, período de revisão, nível de serviço desejado, método de

previsão de demanda e os parâmetros associados a tais métodos, especificamente selecionados para cada SKU.

Deve-se notar que os valores da aba “Parametros” podem necessitar de revisão, uma vez que eles são calculados utilizando dados históricos de 2015 e 2016, e podem ficar defasados conforme o tempo.

Um dos possíveis problemas desta ferramenta é que ela não leva em conta a importância de se maximizar a ocupação de um contêiner, de maneira que ele pode resultar em um contêiner com, por exemplo, apenas uma unidade. Entretanto, como o modelo não contempla todos os SKUs comercializados pela EMPRESA, e a quantidade pedida dos SKUs não contemplados continuará sendo definida arbitrariamente, os funcionários da EMPRESA podem maximizar a ocupação dos contêineres utilizando esses SKUs, de maneira similar à situação atual.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo possui três subseções, apresentando uma síntese do trabalho, incluindo o problema abordado, os materiais e métodos aplicados para resolução do problema e os resultados obtidos de tal aplicação, e uma análise crítica das limitações do trabalho e potenciais futuros desdobramentos resultantes deste trabalho.

5.1 SÍNTESE DO TRABALHO

O objeto de estudo deste trabalho foi uma empresa importadora e distribuidora de escovas dentais, colas instantâneas e lâminas de barbear. A EMPRESA importa seus produtos da China e os distribui para clientes localizados principalmente na cidade de São Paulo e na região Nordeste.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de estoques para a empresa, e o escopo do trabalho foi limitado às escovas dentais apenas, uma vez que as colas instantâneas e lâminas de barbear são compradas em um modelo de operação similar ao *make-to-order*, mas, ao invés de produzir, os produtos são comprados apenas após o cliente fazer o pedido para a EMPRESA.

As escovas dentais, por outro lado, são pedidas pela EMPRESA e mantidas em estoque próprio para venda para seus clientes. Na atualidade, o proprietário da EMPRESA intuitivamente define o tamanho dos lotes de reposição, sem o auxílio de ferramentas de apoio à decisão. Além disso, o *lead time* é de quatro meses, fazendo com que o proprietário faça pedidos para atender uma demanda em um futuro distante.

Dessa maneira, identificou-se uma oportunidade de potencial melhoria nos resultados da operação da EMPRESA com o desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio na gestão de seu estoque. No caso da EMPRESA, especificamente, que atua como distribuidora, os estoques são responsáveis pela grande maioria de seus custos e, por isso, uma melhora em sua gestão possui relevância ainda maior.

Na revisão de literatura, foram identificados dois modelos de gestão de estoques pertinentes às operações da EMPRESA: de reposição pelo máximo e de cálculo de necessidades. Utilizando-se dados de vendas de janeiro de 2015 a dezembro de 2018, ambos os modelos foram testados e comparados à situação real.

Para utilização do modelo de reposição pelo máximo, foram calculados os parâmetros que compõem este modelo utilizando os dados de 2015 e 2016: demanda média e desvio padrão da demanda, utilizados para cálculo do nível máximo de estoque, e a previsão inicial do modelo.

Já para o modelo de cálculo de necessidades, os dados de 2015 e 2016 foram utilizados para parametrizar e testar os métodos de previsão de demanda de média móvel simples, suavização exponencial simples, suavização exponencial com tendência e suavização exponencial com tendência e sazonalidade. Para cada SKU, foi selecionado o método de previsão com menor erro quadrático médio, já devidamente parametrizado com os parâmetros relevantes: n , α , β e/ou γ .

Com os modelos de gestão de estoques devidamente parametrizados, os pedidos de reposição de cada SKU foram calculados para os meses de 2017 e 2018, levando em conta a demanda real pelos produtos. Os modelos foram então comparados entre si e com a situação real utilizando-se os critérios de custo total com estoque, giro de estoque e nível de serviço. A aplicação dos modelos que minimizariam os custos totais com estoque da EMPRESA gerariam uma economia estimada de aproximadamente oitenta mil dólares no período de dois anos, além de maior giro de estoque.

Uma vez definido os modelos de gestão de estoques a serem aplicados a cada um dos SKUs da EMPRESA, foi desenvolvida uma planilha que calcula o tamanho do lote de reposição de cada produto a ser pedido, mensalmente.

5.2 ANÁLISE CRÍTICA

É importante ressaltar algumas limitações relacionadas ao trabalho desenvolvido. O primeiro é o escopo reduzido dos SKUs abordados. Devido à ausência de séries históricas de tamanho relevante, alguns dos SKUs comercializados pela EMPRESA no presente não foram abordados.

Para os SKUs que não foram considerados neste trabalho, a aplicação dos modelos utilizados pode gerar resultados de baixa confiabilidade, dada a dificuldade para parametrização dos modelos. Por esse motivo, recomenda-se que métodos qualitativos sejam utilizados para definição dos tamanhos dos lotes de compra.

Deve-se também destacar o fato de que a demanda pelos produtos considerada na execução deste trabalho são as vendas realizadas no período de estudo, e não a demanda real, uma vez que a EMPRESA não mantém um histórico de pedidos feitos pelos clientes e não atendidos. No futuro, recomenda-se que a EMPRESA passe a manter um histórico de todos os

pedidos feitos por seus clientes, além do histórico de vendas já existente, para que análises possam ser feitas com maior nível de fidelidade à realidade.

Além disso, a ferramenta desenvolvida calcula o tamanho do lote de reposição de cada um dos SKUs, mas não leva em conta a quantidade total a ser pedida, de maneira que pode resultar em contêineres com ocupação baixíssima. Este ponto, no entanto, não possui consequências tão grandes uma vez que os SKUs que não foram contemplados neste trabalho continuarão sendo pedidos de maneira intuitiva, e suas quantidades podem ser ajustadas para maximizar a ocupação dos contêineres, de maneira similar à atual.

Outro ponto de atenção é o fato de que a ferramenta faz os cálculos dos tamanhos dos lotes de reposição com os parâmetros definidos utilizando os dados de 2015 e 2016 para parametrização. É bastante provável que, no futuro, esses parâmetros devam ser recalculados para que o modelo mantenha sua relevância, entretanto, não foi estabelecido um critério para que os parâmetros sejam reavaliados.

5.3 DESDOBRAMENTOS

É importante que, no futuro, um estudo similar seja feito de maneira a contemplar os SKUs deixados de lado neste estudo. Para isso, é necessário que novos dados de venda sejam coletados.

Além disso, para utilização da ferramenta, é necessário que a EMPRESA faça seu inventário para medir os níveis reais atuais de seu estoque e a ferramenta criada possa funcionar adequadamente. Essa ação não só permitirá o funcionamento correto da ferramenta, mas também permitirá que a EMPRESA tenha conhecimento de seus níveis mensais reais de estoque, que são desconhecidos hoje em dia, e podem ser utilizados para análises adicionais.

Deve-se lembrar que a ferramenta possui função de auxiliar o processo de tomada de decisão ao se definir tamanhos de lotes de reposição, e o responsável por essa definição deve utilizar de seu bom senso e conhecimento do negócio para validar ou modificar as saídas da ferramenta.

Adicionalmente, deve-se atentar a resultados distorcidos nas operações relacionadas ao estoque, uma vez que uma piora em seu desempenho pode significar a necessidade de revisar os parâmetros da ferramenta desenvolvida.

Por fim, deve-se salientar que os resultados do estudo foram apresentados ao proprietário da EMPRESA e a ferramenta foi entregue. Ele se mostrou entusiasmado com a

futura utilização da ferramenta, uma vez que lhe proporciona economia de tempo e os valores de economia estimados são bastante relevantes.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**, 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Supply chain logistics management**, 1. ed. McGraw-Hill, 2002.
- GHASEMI, A.; ZAHEDIASL, S. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. **Int J Endocrinol Metab**, v. 10(2), p. 486-489, 2012. doi: 10.5812/ijem.3505
- GREENE, J. H. **Production and Inventory Control Handbook**, 3. ed. McGraw-Hill, 1997.
- HAX, A. C.; CANDEA, D. **Production and inventory management**. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
- HELPERT, E. A. **Financial analysis: tools and techniques. A guide for managers**. McGraw-Hill, 2001.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics**, 2. ed. McGraw-Hill, 2000.
- HYNDMAN, R. J.; ATHANASAPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice**. Otexts, 2014.
- JOHNSON, L.; MONTGOMERY, D. **Operations research in production planning, scheduling, and inventory control**. John Wiley & Sons, 1974.
- LUSTOSA, L. J. et al. **Planejamento e controle da produção**, 4. reimpr. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- MARION, J. C. **Contabilidade empresarial**, 13. ed. – 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2008.
- MAKRIDAKIS, S; WHEELWRIGHT, S. C.; MCGEE, V. E. **Forecasting: methods and applications**. 2. ed. John Wiley & Sons, 1983.
- MULLER, M. **Essentials of inventory management**. AMACOM, 2003.
- PLOSSL, G. W. **Production and inventory control: principles and techniques**, 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1985.
- PORTAL DE FINANÇAS. **CDI – Taxa de juros DI**. Disponível em: <<http://www.portaldefinancas.com/cdi1819.htm>>. Acesso em: 3 de agosto de 2019.
- REGO, J. R.; MESQUITA, M. A. **Controle de estoque de peças de reposição: uma revisão de literatura**. *Production*, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 645-655, 2011.
- SANTORO, M. C. **Sistema de gestão de estoques de múltiplos itens em local único**. 2006. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVER, E. A.; PETERSON, R. **Decision systems for inventory management and production planning**, 2. ed. John Wiley & Sons, 1985.

TERSINE, R. J. **Principles of Inventory and Materials Management**, 4. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

UOL ECONOMIA. **Dólar Comercial: Cotação de Hoje, Gráficos e Tabelas**. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>>. Acesso em: 3 de agosto de 2019.